МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ДП «АНТОНОВ»

МАТЕРІАЛИ

X Міжнародної науково-технічної конференції

“АВІА-2011”

19-21 квітня

ТОМ І

Київ 2011

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ДП «АНТОНОВ»

МАТЕРІАЛИ

X МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

„АВІА-2011”

19-21 квітня

Том 1

Київ 2011

УДК 629.735.01/02(045)

Том 1: Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції „АВІА-2011”. –Т.1. –К.:НАУ, 2011.

РОБОЧИЙ ОРГКОМІТЕТ

Голова оргкомітету	
Кулик М.С.	ректор Національного авіаційного університету
Заступник голови	
Харченко В.П.	проректор університету з наукової роботи
Члени оргкомітету:	
Азарсков В.М.	в.о. директора Інституту аерокосмічних систем управління
Васильєв В.М.	директор Інституту аеронавігації
Гудманян А.Г.	директор Гуманітарного інституту
Запорожець О.І.	в.о. директора Інституту екологічної безпеки
Литвиненко О.Є.	декан факультету комп’ютерних систем
Матвєєв В.В.	директор Інституту економіки та менеджменту
Сопілко І.М.	директор Юридичного інституту
Суслова Г.А.	заступник директора інституту ІСАО
Сидоров М.О.	декан факультету комп’ютерних наук
Фоменко А.М.	директор Інституту міжнародних відносин
Філоненко С.Ф.	директор Інституту інформаційно-діагностичних систем
Чемакіна О.В.	в.о. директора Інституту аеропортів
Шмаров В.М.	директор Аерокосмічного інституту
Юдін О.К.	директор Інституту новітніх технологій

Секретаріат конференції

Голова секретаріату	
Зайцев Ю.В.	начальник відділу НТІ та ІВ
Члени секретаріату:	
Газдюк Р.В.	співробітник відділу НТІ та ІВ
Шепель О.Ю.	співробітник відділу НТІ та ІВ
Рибалко О.Л.	співробітник відділу НТІ та ІВ
Ільченко В.М.	Помічник проректора з наукової роботи
Корбут Л.А.	Начальник відділу науково-методичного забезпечення діяльності
Шевченко О.Р.	начальник відділу міжнародних зв’язків

За науковий зміст викладеного матеріалу відповідають автори.

ПЕРЕЛІК І ЗМІСТ ТОМІВ

ТОМ I

Секція 1. Вимірювання, контроль, діагностика
Секція 2. Інформаційна безпека
Секція 3. Спеціалізовані комп'ютерні системи та CALS-технології
Секція 4. Комп'ютерні науки і інженерія
Секція 5. Комп'ютерні системи
Секція 6. Математичне моделювання та чисельні методи

ТОМ II

Секція 7. Аеронавігація
Секція 8. Аерокосмічні системи моніторингу та управління
Секція 9. Радіоелектронні комплекси та авіоніка
Секція 10. Авіаційна англійська мова та безпека польотів
Секція 11. Енергетичне устаткування
Секція 12. Новітні триботехнології
Секція 13. Сучасні аеропортові технології
Секція 14. Міцність та втомленість повітряних суден
Секція 15. Сучасні технології підтримки льотної придатності повітряних суден
Секція 16. Автоматизація та енергозбереження на транспорті
Секція 17. Аеродинаміка та безпека польотів

ТОМ III

Секція 18. Авіаційна хіммотологія
Секція 19. Керування складними системами
Секція 20. Моделювання в електротехніці, електроніці та світлотехніці
Секція 21. Електроніка і радіоелектронні системи
Секція 22. Автоматизовані системи управління технологічними процесами
Секція 23. Електродинамічні та електронні системи
Секція 24. Міське, промислове, цивільне та транспортне будівництво
Секція 25. Технічна естетика, архітектура та дизайн

ТОМ IV

Секція 26. Хімічні технологія та інженерія
Секція 27. Екобезпека та екобіотехнологія
Секція 28. Кадастр та інформатика
Секція 29. Дистанційні аерокосмічні дослідження
Секція 30. Економічні та управлінські бізнес-процеси розвитку авіаційних підприємств
Секція 31. Проблеми організаційно-правового забезпечення та державного регулювання в сфері цивільної авіації
Секція 32. Боротьба з правопорушеннями: національні та міжнародні аспекти
Секція 33. Актуальні проблеми приватного права
Секція 34. Організаційно-правові засади регулювання відносин в сфері економіки
Секція 35. Диверсифікація міжнародних зв'язків України в процесі інтеграції до світового соціокультурного та економічного просторів
Секція 36. Психологія безпечної експлуатації авіаційного транспорту
Секція 37. Професійна підготовка перекладачів авіаційної галузі

ЗМІСТ

Секція 1. Вимірювання, контроль, діагностика

А.И. Бондаренко, А.А. Прачев, Е.В. Монченко, Е.Д. Близнюк, А.В. Дергунов 1.1
ОЦЕНКА СВОЙСТВ СУХОГО АКУСТИЧЕСКОГО КОНТАКТА В НИЗКОЧАСТОТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.М. Троць, О.В. Дергунов, Ю.В. Куц, С.В. Чубинський 1.5
МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ СИГНАЛІВ У ДОПЛЕРІВСЬКОМУ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ ВИМІРЮВАЧІ ШВИДКОСТІ КРОВОТОКУ

Ю.В. Куц, С.В. Шенгур, Ю.В. Гусєв 1.9
СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ТА СТАТИСТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ КУТОВИХ ДАНИХ

С.Ф. Філоненко, О.П. Космач 1.15
ВПЛИВ ЧАСУ УСЕРЕДНЕННЯ НА ПАРАМЕТРИ РЕЗУЛЬТУЮЧОГО СИГНАЛУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ ТЕРТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В.Н. Стадниченко, А.П. Стахова 1.19
АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРИБОВОСТАНАВЛИВАЮЩИХ СОСТАВОВ

С.Ф. Філоненко, Т.В. Німченко 1.23
ПАРАМЕТРИ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ РУЙНУВАННІ ЗРАЗКІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

М.Б. Гумен, О.А. Батіна, Т.Ф. Гумен 1.27
СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ

Д.А. Нестерук 1.31
ТЕПЛОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ВОДЫ В СОТОВЫХ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

К.Ю. Безымянная 1.35
ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ РЕЗИНОПОДОБНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

А.И. Урбах, М.Д. Банов, С.М. Дорошко, Е.Н. Гарбуз, Ю.В. Фещук 1.39
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

И.М. Исмаилов, Н.В. Годжаева 1.43
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

И.В. Линчевский 1.47
ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА АВТОГЕНЕРАТОРЕ С МАГНИТООПТИЧЕСКИМ КРИСТАЛЛОМ

О.Ф. Закревський (НТУУ «КПІ», Україна) 1.51
ВПЛИВ СКІНЧЕННОСТІ ГАБАРИТІВ НА ЯКІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ ВИХРОСТРУМОВИМ МЕТОДОМ (ЕКСПЕРИМЕНТ)

А.Р. Корсунов 1.55
ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ЛЕТНОГО СОСТАВА

В.С. Єременко, Є.Ф. Суслов, П.А. Шегедін 1.59
СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ NI COMPACTRIO

А.А. Рижкова, Д.О. Харламов, М.В. Гладишевський, О.В. Радько, Н.А. Мєдвєдєва 1.63
КОНТРОЛЬ ЛОПАТОК ТУРБІН І ІНШИХ ДЕТАЛЕЙ ЛІТАКІВ ДЕФЕКТОСКОПОМ УДЗ-71

Ю.Ю. Васильєва, А.М. Мельник 1.67
КОМП'ЮТЕРНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ В ЗАДАЧАХ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

М.В. Гладишевський, А.А. Рижкова, Д.О. Харламов 1.71
ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

А.М. Мельник, Ю.Ю. Васильєва 1.75
ОРТОГОНАЛЬНІ ФІЛЬТРИ ЛАГЕРА В ЗАДАЧАХ ВИМІРЮВАНЬ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ

Ю.Г. Безымянный, А.Н. Колесников, К.А. Комаров, О.В. Талько 1.79
ОПЫТ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТА ГИДРОСИСТЕМЫ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТОЛЁТА

Є.А. Реуцький, А.А. Саврадон, Т.О. Самчук 1.83
ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ І КОМП'ЮТЕРНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

Ю.В. Куц, Н.Б. Марченко, Л.М. Щербак 1.87
АЛГОРИТМ ВІКОННОЇ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ

В.П. Квасніков, О.В. Бойченко 1.91
КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ УХВАЛЕННЯ РІШЕННЯ В ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ

V.V. Drevetskiy, S.P. Vorobyuk, V.P. Kvasnikov 1.95.
MODERNISATION OF EXISTING CONTROL SYSTEMS BASED ON THE PCS

В.В. Древецький, М.М. Клепач, Т.М. Пирог 1.99
ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО АНАЛІЗАТОРА ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ

Л.М. Покидько, К.С. Бабіч 1.103
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

В.В. Кованько, О.В. Кованько, О.І. Осмоловський 1.108
ОЦІНКА ЕНЕРГОПОГЛИНАЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ РЕГОЛІТУ МІСЯЦЯ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ ГРУНТІВ-АНАЛОГІВ

В.Ф. Новиков, В.П. Квасников 1.112
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ПРИБОРАСИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИНИЦИИРОВАНИЯ В СОСТАВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

М.А. Тимофієва 1.116
СИНТЕЗ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА ПРИВОДІВ КООРДИНАТНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ, ІНВАРІАНТНОГО ДО ПАРАМЕТРИЧНИХ ЗБУРЕНЬ

С.П. Ярмоленко, А.Л. Передерко 1.120
ПОХИБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ У ГАЗОВІЙ ХРОМАТОГРАФІЇ

T. Pyrog, A. Pyrog 1.123
CALIBRATION TECHNIQUE OF LASER TRIANGULATION SENSORS FOR INTEGRATION IN ROBOT ARMS

О.П. Сташинський 1.127
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТРЕНАЖЕРА ОПЕРАТИВНИХ ДІЙ ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО ПЕРСОНАЛУ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

L.A. Borkovskaya, A.V. Borkovskiy 1.130
PATH PLANNING FOR A MOBILE ROBOT IN REAL TIME

К.Я. Охрименко, А.В. Манзюра, Eichhorn K.K., Л.М. Покидько 1.133
РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ВИБРАТОРОВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

О.І. Осмоловський 1.137
ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ ПРОСТОРОВОГО РУХУ ВИКОНУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Ю.П. Лещенко 1.141
БАЗИ ЗНАНЬ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

Д.М. Федоров 1.143
АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ

В.М. Ільченко, Є.М. Осінній 1.147
ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЕТАЛІ МАШИНИ-АВТОМАТА

Л.В. Коломієць, О.Ю. Шепель 1.149
СИНТЕЗ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

В.А. Шевчук 1.153
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ПОЛИГРАФЕ

С.А. Сухой, Е.П. Сластенко 1.157
ПЕРЕДАЧА РАЗМЕРА ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ В КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

С.В. Уваров, В.М. Ільченко 1.161
ДІАГНОСТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

В.П. Квасников, С.А. Сапрыкин 1.165
ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

С.А. Дорошенко, Ю.М. Чорненький 1.168
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Д.А. Тюпа, А.И. Осмоловский 1.172
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АВИАЦИОННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Р.К. Мирзаев 1.176
БОРТОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ И ИХ СТРУКТУРА

С.А. Прохоров, В.М. Гречишников, Р.К. Мирзаев 1.180
НОВЫЕ СТАНДАРТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Секція 2. Інформаційна безпека

О.К. Юдін, С.С. Кривша, А.С. Супрунов 2.1
КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

А.І. Гізун, В.О. Гнатюк, О П. Дуксенко, А.О. Корченко 2.5
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОСТІ БІЗНЕСУ

О.Г. Корченко, Д.А. Горніцька, Є.В. Іванченко 2.9
МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЕКСПЕРТА У СФЕРІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

К.П. Ануфрієнко 2.14
ОГЛЯД ІНТЕГРОВАНИХ СЕРЕДОВИЩ ФАЗЗІНГУ

В.Б. Дудикевич, Ю.Р. Гарасим 2.18
ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З МІСТКОВОЮ ТА ПОСЛІДОВНО-ПАРАЛЕЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

С.О. Гнатюк, Ю.Є. Хохлачова 2.22
КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ КРИПТОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

С.О. Гнатюк, С.О. Демченко, В.М. Кінзерявий 2.26
БАЗОВІ ОЗНАКИ КЛАСИФІКАЦІЇ КІБЕРАТАК НА КВАНТОВІ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Є.В. Василіу 2.30
СИНТЕЗ СТРУКТУРИ КВАНТОВОЇ СИСТЕМИ ПРЯМОГО БЕЗПЕЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

В.Г. Кононович, І.В. Кононович 2.34
ВИЗНАЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОЛЯ З ПОЗИЦІЙ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

В.Г. Кононович 2.38
ЕВОЛЮЦІЯ ПАРАДИГМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ, СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНОЇ ТА КІБЕРБЕЗПЕКИ

П.В. Сироватка, М.С. Літош, Н.І. Довгич, К.П. Ануфрієнко 2.42
ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ СТЕГАНОГРАФІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ДО СУБ'ЄКТИВНИХ АТАК

С.С. Козирєв 2.46
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АПАРАТНОЇ БЕЗПЕКИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

В.С. Блінцов, С.М. Нужний, Д.А. Баша 2.48
КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ «ОСНОВИ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ВТКМ»

О.А. Щелконогов 2.52
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВСКРЫТИЯ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

И.П. Шумский 2.56
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАСПОРТОВ НА КОНТРОЛЬНО-ПРОПУСКНЫХ ПУНКТАХ В АЭРОПОРТУ

А.Е. Архипов 2.61
ВЛИЯНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ВРЕМЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ УГРОЗ ИНФОРМАЦИИ

О.Є. Архипов, С.А. Архіпова 2.64
МОДЕЛЬ ЦІННОСТІ КОНФІДЕНЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

С.В. Казмирчук 2.68
БАЗОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ РИСКА В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Н.И. Алишов, В.А. Марченко, А.Н. Мищенко 2.72
ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ VOIP С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОСВЕННОГО ШИФРОВАНИЯ

Л.В. Буланая, В.Г. Павлов 2.76
ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ MESH-СЕТЯХ

О. М. Весельская 2.80
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

І.І. Пархоменко, О.О. Квачук 2.84
ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ VPN В КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ

И.И. Пархоменко, В.А. Чижова 2.87
ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОТИ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ

R.A.Umerov, F. Galindo, A.A.Tikhomirov, A.I. Trufanov, A. Rossodivita 2.90
ADVANCED SCIENTIFIC AND PRACTICAL APPROACHES TO INFORMATION SECURITY

R.A. Umerov, F. Galindo, A.A. Tikhomirov, A.I. Trufanov, A. Rossodivita, R.N. Memetov 2.94
VISUALIZATION'S INSTRUMENTS IN INFORMATION SECURITY TASKS

О.К. Юдін, К.О. Курінь 2.97
РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ ВІДНОВЛЕННЯ ВІДЕОДАНИХ

В.С. Василенко, О.В. Дубчак 2.101
ОЦІНКА АБСОЛЮТНОЇ ШВИДКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

В.О. Темніков, О.В. Петейчук 2.105
(НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, УКРАЇНА)
КОНТРОЛЬ РОБОТИ АВІАДИСПЕТЧЕРА З ВИКОРИСТАННЯМ МОВНОГО СИГНАЛУ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Е.В. Мельников, Д.С. Дундич 2.109
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В РАДИОЗАКЛАДНЫХ УСТРОЙСТВАХ С НАКОПЛЕНИЕМ ИНФОРМАЦИИ

Б.Є. Журиленко, Є.О. Дубовий 2.113
ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ЕЛЕКТРИЧНОГО СИГНАЛУ НА ЧАСТОТАХ МОВНОГО ДІАПАЗОНУ (250-4000 Гц) ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АКУСТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Секція 3. Спеціалізовані комп'ютерні системи та CALS-технології

П.М. Павленко 3.1
ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПІДГОТОВКИ ІТ-ФАХІВЦІВ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ

Г.Л. Баранов, В.І. Тарасюк, С.М. Васько 3.4
МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ СИМВОЛЬНИХ ТЕЙЛОРОВСЬКИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Ю.В. Задонцев 3.8
ТЕХНОЛОГІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСІВ ПРОФЕСІЙНОГО НАВЧАННЯ ІТ-ФАХІВЦІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Г.Ю. Маклаков, Г.Г. Маклакова 3.13
МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕРВИСОВ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

В.В. Трейтяк 3.17
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ТА ОЦІНКИ ВИРОБНИЧИХ ЗАМОВЛЕНЬ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Ю.В. Власенко, Р.Н. Лелюх 3.21
МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА УЗЛОВ САМОЛЁТА В CAD/CAM/CAE СИСТЕМЕ CATIA V6

В.Ю. Кудряков 3.25
ІНФОРМАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ВИРОБНИЧИХ ЗАМОВЛЕНЬ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

А.І. Мужик 3.29
РОЗРОБКА ФОРМАЛЬНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОННИМИ РЕСУРСАМИ ІНТЕГРОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

П.М. Павленко, С.В. Козьяков, П.М. Ратушний 3.33
КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ ЛІТАКА В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМИ CATIA V6

А.О. Хлевний 3.37
УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗПОДІЛУ РОБІТ З ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИМИ ЗАСОБАМИ PDM-СИСТЕМИ ENOVIA SMARTEAM

М.С. Пелих 3.41
АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНИХ АСПЕКТІВ УПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ 3G ТА 4G ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В УКРАЇНІ

Ю.Г. Нестеренко, А.П. Владовский, В.Н. Степаненко 3.45
СОЗДАНИЕ МУЛЬТИМЕДИЙНОЙ СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЫ В СРЕДЕ PDM/PLM – СИСТЕМЫ T-FLEX DOCs 2010

И.В. Мирошниченко 3.49
ВНЕШНЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ

А.В. Толбатов 3.52
АНАЛІЗ ПЕРЕТВОРЕНЬ ЕЛЕКТРОННИХ СИГНАЛІВ У ЛІНІЙНИХ І НЕЛІНІЙНИХ ТРАКТАХ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГАЗОТУРБІННОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Секція 4. Комп'ютерні науки і інженерія

Е.И. Клюев, Е.И. Туз, Е.А. Волкова 4.1
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТУ

Н.М. Глазунов 4.5
ЭЛЕМЕНТЫ ОНТОЛОГИИ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ СИММЕТРИЙ

І.С. Ясенова, О.В. Тегельман, О.В. Щур, 4.9
ТЕСТУВАННЯ БАЗ ДАНИХ ЯК НЕВІД'ЄМНИЙ ЕТАП СТВОРЕННЯ ТА СУПРОВОДУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

І.С. Ясенова, А.В. Підгорна 4.13
УПРАВЛІННЯ КОМУНІКАЦІЯМИ ПРОЕКТУ

Rasul Falaki, Arash Ayati, Sergii Kotla 4.17
OBJECT ORIENTED PROGRAMMING ARCHITECTURE FOR NEURAL NETWORK MODULES ABSTRACT ARCHITECTURE FOR ROBOT SOFTWARE REALIZATION

В. Клобуков, В. Рябоконь, С. Єрмак 4.21
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТОКОЛІВ ПОБУДОВИ МАРШРУТІВ В МЕРЕЖАХ METRO ETHERNET

О.Н. Карпов, К.М. Глушак 4.25
ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО РЕЧИ

О.И. Лучинкина, О.Н. Карпов 4.29
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СЛИТНОЙ РЕЧИ

Секція 5. Комп'ютерні системи

Н.Б. Марченко 5.1
ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ СУБГАУССОВИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ У ПОРІВНЯННІ З НЕРІВНІСТЮ ЧЕБИШОВА

Б.Г. Масловський, Є.Б. Артамонов 5.5
ВИКОРИСТАННЯ ЯКІСНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Ю.Г. Безымянный, А.Н. Высоцкий, К.А. Комаров, Л.О. Тесленко 5.10
КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ В МАТЕРИАЛАХ

С.В. Пустова, кандидат технічних наук, 5.14
БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА ЧЕРГ З ПОВЕРНЕННЯМИ З НЕЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИМИ ЧАСАМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ

А.В. Пономаренко 5.18
АРХИТЕКТУРА МНОГОУРОВНЕВОЙ КОМПЬЮТЕРИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ СКВОЗНЫХ ДЕФЕКТОВ В ПРОДУКТОПРОВОДАХ

В.И. Кубицкий 5.21
МЕТОДЫ ДЕКОДИРОВАНИЯ ОШИБОК В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Т.Б. Шатовская, О.И. Оноприенко, В.С. Барашков, 5.25
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ВЫПОЛНЕНИЯ ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТОВ

Т.Б. Шатовская, И.В. Климов 5.29
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ «DCITIZEN»

О.І. Пурський, О.В. Рапотенко 5.33
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

О.М. Глазок 5.37
ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ БІЗНЕС-СТРУКТУР

Є.В. Красовська, А.О. Антіпов 5.41
ПРОЦЕСОР ІЗ ДИНАМІЧНИМ ПЛАНУВАННЯМ КОМАНД

Ю.Г. Безимянний, В.Г. Боровик, В.П. Солнцев, В.О. Адаменко 5.45
КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗВУКУ ПІД ЧАС СПІКАННЯ МАТЕРІАЛУ

В.В. Лукашенко, О.П. Мартинова 5.49
АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНОЮ КОМП'ЮТЕРНОЮ МЕРЕЖЕЮ

Є.Б. Артамонов, А.В. Кузнецов 5.53
ПРИНЦИПИ ВІЗУАЛЬНОГО ПОШУКУ В ЦИФРОВИХ БІБЛІОТЕКАХ

О.М. Глазок, Д.Ю. Катюха 5.57
ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЙ ПІДВИЩЕНОЇ РОЗРЯДНОСТІ В ХОДІ ІТЕРАЦІЙНОГО ПОШУКУ РОЗВ'ЯЗКУ СИСТЕМИ ЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ

О.М. Дишлюк 5.61
МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ З МНОЖИННИМИ ЗАЯВКАМИ

А.О. Краснопольський, О.С. Зиков, К.А. Богданова 5.63
ПРОЦЕСНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ. МІСІЯ КАФЕДРИ

В.В. Клобуков, А.О. Краснопольський, О.С. Зиков 5.66
УПРАВЛІННЯ ПРОДУКТИВНІСТЮ КОРПОРАТИВНИХ КОНВЕРГЕНТНИХ МЕРЕЖ

Г.С. Краліна 5.70
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ КОРАБЕЛЬНОГО БАЗУВАННЯ

Е.П. Нечипорук 5.72
ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.В. Лазебний 5.74
ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЗИЧНОГО КАНАЛУ НА ЯКІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СЕГМЕНТУ БЕЗПРОВОДОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

В.В. Марченко 5.78
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОВАНОЇ ЯКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМУ АКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЧЕРГАМИ

М.П. Савельев 5.82
СИНТЕЗ РЕЧИ ПО ПАРАМЕТРАМ ДИКТОРА

Секція 6. Математичне моделювання та чисельні методи

Н.М. Глазунов 6.1
АРИФМЕТИЧЕСКИЕ ОТОБРАЖЕНИЯ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.А. Аксенов, С.В. Жлуктов, И.В. Москалев, А.С. ШИШАЕВА, В.В. ШМЕЛЕВ 6.4
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ САМОЛЕТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOWVISION-HPC

А.В. Касьянов, В.В. Пахненко 6.9
ВАРІАЦІЙНИЙ ПРИНЦИП ДЛЯ ДИСИПАТИВНИХ СИСТЕМ

А.О. Антонова 6.13
ЧИСЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ БІЗНЕС - ЦИКЛУ ГУДВІНА

Є.О. Шквар, Т.В. Козлова 6.17
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ТУРБУЛЕНТНИХ ТЕЧІЙ В ЕЛЕМЕНТАХ ПОВЕРХНЕВОГО РЕЛЬЄФУ

Павел В. Лукьянов 6.21
ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ КВАЗИТОЧЕЧНОГО ВИХРЯ В ЗАДАЧЕ О ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ОБТЕКАНИИ ЦИЛИНДРА

Павел В. Лукьянов, 6.23
ИНЕРЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ОДНОМЕРНОГО КОЛОННООБРАЗНОГО ВИХРЯ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

Пётр В. Лукьянов 6.26
ШУМ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ВЕРТОЛЁТА ПРИ ДОЗВУКОВОМ РЕЖИМЕ ОБТЕКАНИЯ: АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

Пётр В. Лукьянов 6.30
ШУМ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ВЕРТОЛЁТА ПРИ ДОЗВУКОВОМ РЕЖИМЕ ОБТЕКАНИЯ: ПОСТАНОВКА, РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ, АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА

М.М. Лопатюк, кандидат технічних наук 6.34
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КРИЛА КІНЦЕВОГО РОЗМАХУ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЛАЙН–ФУНКЦІЙ

В.В. Митюков 6.38
СОГЛАСОВАНИЕ ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕТА С АПРИОРНО ЗАДАННЫМИ СВЯЗЯМИ МЕЖДУ НИМИ

А.И. Карпов 6.42
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН ВИДИМОСТИ РАДАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕСУРСОВ GOOGLE MAPS

А.В. Болдырев, В.А. Комаров 6.45
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ В ПРОЕКТНЫХ ЗАДАЧАХ

T.Ju. Bohonova, V.B. Vasylyk 6.49
TWO-POINTS PROBLEM FOR AN EVOLUTION FIRST ORDER EQUATION IN BANACH SPACE

А.В. Чирков, В.П. Сазанов, О.Ю. Семёнова, А.В. Иванова 6.53
МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ ПО ПЕРВОНАЧАЛЬНЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ

Олександр О. Сіренко 6.57
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРУ АЛМАЗНОГО МІКРОТОЧІННЯ

Я.В. Крисак, О.В. Сороцька, В.А. Стоян 6.62
ДО ПОБУДОВИ ДИСКРЕТНО ВИЗНАЧЕНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЛІНІЙНИХ ТА КВАЗІЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

В.К. Репета 6.66
ПРО ЧИСЛОВІ ТРИГОНОМЕТРИЧНІ ТОТОЖНОСТІ СПЕЦІАЛЬНОГО ВИГЛЯДУ

О.Д. Глухов 6.70
ПОРОГОВИЙ ДЕКРЕМЕНТ ДЛЯ ЗВ’ЯЗНИХ КВАЗІВИПАДКОВИХ ГРАФІВ

О.М. Бердник 6.72
ПРО ВПЛИВ НЕДНОРІДНОГО ШАРУ ПЕРЕШКОД НА СТАБІЛІЗОВАНИЙ ПОТІК РІДИНИ В КРУГЛІЙ ТРУБІ

М.А. Мартиненко, В.П. Мартиненко 6.76
ЗАДАЧА ПРО КРУЧЕННЯ ПРУЖНОЇ КУЛІ З КОНЦЕНТРИЧНИМ СФЕРИЧНИМ РОЗРІЗОМ

Д.Г. Медведєв 6.80
АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕОЗИНОФІЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЛАЙНІВ
І.В. Бейко 6.84
ОПТИМАЛЬНІ МАТЕМАТИЧНО-КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОЧИХ МОДЕЛЕЙ
В.В. Мороз, О.С. Чубач 6.88
МЕТОД ЧАСОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ВІДЕО НА ОСНОВІ ОБ'ЄКТНОЇ МОДЕЛІ КАДРУ

СЕКЦІЯ 1.

ВИМІРЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ, ДІАГНОСТИКА

УДК 621.129.16

А.И. Бондаренко, А.А. Прачев, Е.В. Монченко, Е.Д. Близнюк, А.В. Дергунов
(Национальный авиационный университет, Украина)

ОЦЕНКА СВОЙСТВ СУХОГО АКУСТИЧЕСКОГО КОНТАКТА В НИЗКОЧАСТОТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Выполнена оценка свойств сухого акустического контакта при контроле многослойных конструкций методами низкочастотной дефектоскопии. Получены зависимости разделения давления в зоне контакта при различном значении радиуса сферы контактного наконечника преобразователя.

В современной акустической дефектоскопии широкое применение находят низкочастотные методы неразрушающего контроля (НК), основанные на применении упругих колебаний низких звуковых и ультразвуковых частот (до 100… 150 кГц). Основной особенностью низкочастотных методов является сухой акустический контакт преобразователя с изделием. Сухой акустический контакт представляет собой соединение поверхности электроакустического преобразователя с объектом контроля, обеспечивающее передачу акустической энергии между ними без дополнительных смачивающих материалов [1]. Надежная передача акустической энергии при сухом контакте обеспечивается за счет усилия прижима рабочей поверхности преобразователя к поверхности объекта контроля путем приложения постоянной статической силы.

Сухой акустический контакт в низкочастотной дефектоскопии впервые получил распространение в связи с необходимостью решения задач по обнаружению несплошностей (дефектов соединения и расслоения между элементами) в клеевых, паяных, и других многослойных конструкциях, выполненных из различных металлических и неметаллических материалов (слоистые пластики, сотовые панели, лопасти вертолетов, соединения обшивок с элементами жесткости, другие изделия авиакосмической техники) [2]. При контроле таких многослойных конструкций используют сухой точечный контакт (СТК), который осуществляется в основном через выпуклую поверхность преобразователя, имеющего двойную кривизну [1].

На основе сухого точечного контакта для контроля многослойных конструкций разработано ряд низкочастотных методов акустической дефектоскопии, к которым можно отнести: импедансный, велосиметрический, акустико-топографический и другие акустические методы. Теоретические основы физических принципов и прикладные аспекты различных низкочастотных методов дефектоскопии многослойных конструкций с СТК, их практическое воплощение в разных типах дефектоскопических приборов, отличающихся применяемыми преобразователями, характером излучения и способами обработки сигналов, обобщены в монографии [3].

Для контроля многослойных конструкций в основном используется импедансный метод, основанный на возбуждении в объектах контроля изгибных упругих волн звуковых (реже низких ультразвуковых) частот и регистрации изменений механических импедансов, обусловленных дефектами соединений между слоями контролируемой конструкции [3]. В данном случае механический импеданс является параметром контролируемой многослойной конструкции [2]. Импедансный метод с сухим точечным контактом позволяет контролировать многослойные конструкции в различных сочетаниях материалов, отличающиеся по своим физико-механическим свойствам [2]. Метод в основном использует совмещенный стержневой преобразователь, в корпусе которого располагаются излучающий и приемный пьезоэлементы. При контроле осуществляется перемещение преобразователя по поверхности многослойной конструкции. Прижим контактного наконечника преобразователя производится с помощью статической постоянной силы F_0. Постоянная сила F_0 должна обеспечить надежную передачу акустической энергии как при возбуждении

колебаний в объекте контроля, так и при приеме колебаний, отраженных от несплошностей.

При анализе свойств сухого акустического контакта в процессе контроля многослойных конструкций будем рассматривать наиболее распространенный импедансный метод дефектоскопии с использованием совмещенных преобразователей, содержащих разделенные волноводом излучающий и приемный пьезоэлементы [2]. Излучающий элемент возбуждает гармонические упругие колебания, которые через сухой точечный контакт преобразуются в гармонические изгибные колебания контролируемой конструкции. Преобразователь контактирует с контролируемой конструкцией через износостойкий контактный наконечник с выпуклой сферической или конической с острым концом рабочей поверхностью [3]. На рис 1. приведены виды контактов преобразователей с поверхностью многослойной конструкции.

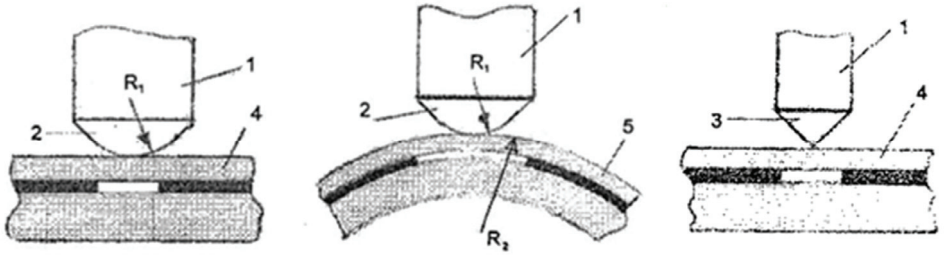


Рис. 1 Виды контакта при контроле многослойной конструкции:
1- преобразователь; 2 – контактный наконечник со сферической рабочей поверхностью; 3- контактный наконечник с острым концом; 4 – плоское контролируемое изделие; 5- контролируемое изделие в форме цилиндра; R_1 – радиус контактного наконечника; R_2 – радиус изделия в форме цилиндра

Рабочая зона поверхности контактного наконечника, которая контактирует с поверхностью изделия, должна быть во много раз меньше длины низкочастотной ультразвуковой волны в материале объекта контроля. Достигаются такие малые размеры контактной зоны при контроле многослойных конструкций за счет использования сферической выпуклой поверхности преобразователя, радиус кривизны которого составляет порядка R= 3...25 мм. Площадь зоны контакта при этом соответствует долям квадратного миллиметра. Зона контакта сферического наконечника с контролируемой многослойной конструкцией зависит от формы последней. При контакте сферического наконечника с плоским изделием или в виде сферы (рис. 1, а) зона контакта ограничена окружностью, а при контакте с образующей цилиндра (рис. 1,б) - эллипсом.

При контроле многослойных конструкций с сухим точечным контактом необходимым условием является прижим преобразователя к поверхности конструкции с помощью постоянной статической силы. Известно, что если постоянная сила прикладывается к какому-либо упругому или твердому телу через посредство некоторого другого упругого или твердого тела, то подобная задача в большинстве случаев является контактной задачей теории упругости [4]. Впервые положения контактной задачи теории упругости были использованы в неразрушающем контроле в связи с развитием методов низкочастотной дефектоскопии на основе сухого точечного контакта наконечника преобразователя со сферической контактной поверхностью при его прижатии к поверхности многослойной конструкции постоянной сосредоточенной силой F_0 и связаны с исследованием явления контактной гибкости зоны контакта [3].

Оценим свойства сухого точечного акустического контакта преобразователя со сферической формой контактного наконечника с плоской поверхностью многослойной конструкции с позиций контактной задачи теории упругости (рис.1,а). Для этого воспользуемся результатами теории, полученными в предположении чисто упругих деформаций двух контактирующих тел радиусами R_1 и R_2 с идеально гладкими сферическими поверхностями, которые приведены в работе [3]. Зона контакта двух тел обычно характеризуется величиной радиуса a круговой поверхности контакта и величиной α сближения тел.

При оценке свойств сухого точечного контакта сферического наконечника преобразователя с плоской поверхностью многослойной конструкции будем также считать контактирующие поверхности идеально гладкими. В этом случае выражение для определения радиуса *a* круговой поверхности контакта имеет вид:

$$a = \sqrt[3]{F_0 D R_1}\,, \tag{1}$$

а выражение для определения величины сближения α преобразователя и многослойной конструкции будет иметь вид

$$\alpha = \sqrt[3]{F_0^2 D^2 / R_1}\,, \tag{2}$$

где D - коэффициент, учитывающий коэффициенты Пуассона и модули упругости Юнга первого и второго тел; R_1 - радиус контактного наконечника. Наибольшее давление q_0 в центре круговой площадки контакта преобразователя с многослойной конструкцией можно определить, по выражению:

$$q_0 = (3F_0/2\pi)\sqrt[3]{F_0/DR_1}\,. \tag{3}$$

Рассмотрим как будет изменяться распределение давлений по круговой поверхности контакта наконечника преобразователя и плоской многослойной конструкции для разных радиусов сферы наконечника и постоянном значении силы F_0.

В соответствии с выражением (1) радиус *a* круговой поверхности давления при известных механических постоянных контактного наконечника и многослойной конструкции и заданной силы будет зависеть от радиуса сферы контактного наконечника. Будем рассматривать распределение давления вдоль прямолинейных участков $-a_1 < x < a_1$ и $-a_2 < x < a_2$ оси Ох. Эти участки (рис. 2) отражают области контакта между сжатыми контактным наконечником и поверхностью многослойной конструкции при условии, что $R_1 > R_2$.

При этом будем считать,, что сухой контакт сжатых поверхностей осуществляется вдоль отрезка оси Ох, представляющего , собой одну непрерывную линию. Начало координат участков $-a_1 < x < a_1$ и $-a_2 < x < a_2$ расположено по средине их зон контакта, т.е. в точке приложения усилия на поверхности многослойной конструкции. В зоне контакта наконечнику радиуса R_1 с многослойной конструкцией под действием силы F_0 соответствует окружность радиуса a_1 а контактному наконечнику радиуса R_2 - окружность радиуса a_2

Покажем, каким образом связаны между собой сосредоточенная сила F_0 прижатия контактного наконечника преобразователя к поверхности многослойной конструкции и уравновешиваемое ее действие давления $q(z)$ в зонах контакта, представляющие собой прямолинейные участки вдоль оси Ох с радиусами a_1 и a_2 (рис.2).

Для оценки распределения напряжений на поверхности многослойных конструкций внутри кругового контура давления воспользуемся выражением вида:

$$q(z) = (3F_0/2\pi a^2)\sqrt[3]{1 - x^2/a^2}\,. \tag{4}$$

Примем, что для радиуса R_1 сферы контактного наконечника и при постоянном значении силы $F_0 = 10H$, радиус окружности зоны контакта a_1=0,2 мм (рис.2,а).

Площадь зоны контакта будет составлять десятые доли миллиметра. В зоне контакта под давлением силы F_0 в соответствии с формулой (4) распределение давления $q(z)$ будет иметь вид, приведенный на рис. 3 (кривая 1).

Для контактного наконечника преобразователя радиуса R_2 (рис. 2,б) примем радиус контактной зоны a_2 = 0,1 мм.

Площадь контактной зоны при этом будет составлять сотые доли миллиметра.

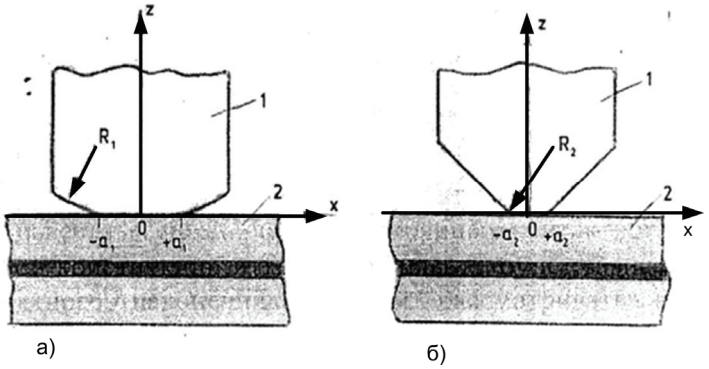


Рис. 2 Область контакта между преобразователем радиусами $R_1(a)$ и $R_2(б)$ с многослойной конструкцией

Распределение давления $q(z)$ в зоне контакта будет иметь вид, приведенный на рис. 3 (кривая 2). Графики распределения давления (рис.3) показывают, что с уменьшением радиуса контактного наконечника преобразователя в два раза напряжения в зоне контакта возрастают в четыре раза при одном и том же значении сосредоточенной силы F_0, которое выбирается в пределах $F_0 = 3\ldots10H$.

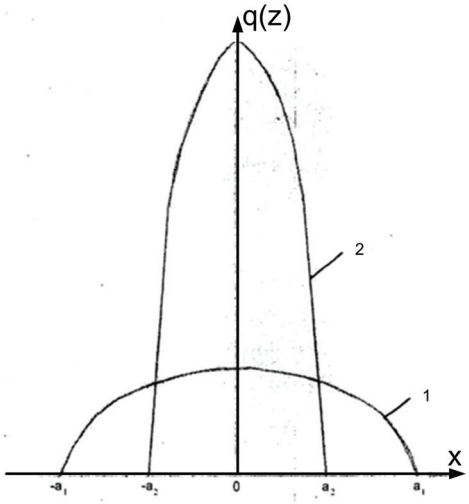


Рис.3 Распределение давления в контактной зоне в зависимости от ее радиуса

Из формулы (4) видно, что даже при небольших значениях F_0 максимальное контактное напряжение $\sigma_{\max}$ в центре области контакта будет равно $q(z) = \sigma_{\max} = 3F_0 / 2\pi a^2$ и в некоторых случаях может превышать пределы пропорциональности материалов контактирующих тел. В данном случае $\sigma_{\max}$ превышает среднее значение напряжения $\sigma_{ср} = F_0 / \pi a^2$ в полтора раза. Однако большие напряжения действуют лишь в малых по площади областях, прилегающих к зоне соприкосновения контактирующих тел.

Список литературы

1. ГОСТ 23829-85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1986. - 15 с.
2. *В.В.Клюев,* Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник /*В.В.Клюев, Ф.Р.Соснин, В.Н.Филинов и др.; Под ред. В.В.Клюева.* - М.: Машиностроение, 1995. - 488 с.
3. *Ланге Ю.В.* Акустический импедансный метод неразрушающего контроля многослойных конструкций. Состояние и перспективы развития //Приборы и системы управления. - 1988. - № 5. - с. 16-18.
4. *Галин Л.А.* Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. – М.: Наука 1980.-304 с.

УДК 654.05 (043.2)

В.М. Троць, О.В. Дергунов, Ю.В. Куц, д.т.н., проф., С.В. Чубинський
(Національний авіаційний університет, Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ СИГНАЛІВ У ДОПЛЕРІВСЬКОМУ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ ВИМІРЮВАЧІ ШВИДКОСТІ КРОВОТОКУ

В статті досліджується ультразвуковий вимірювач швидкості кровотоку людини. Розглянуто задачу моделювання процесу визначення допплерівської частоти сигналів в програмному пакеті LabView.

Вступ. Ультразвук має ряд специфічних властивостей, які визначають його широке використання в медицині [1]. Ці особливості зумовлені високою частотою і, відповідно, малою довжиною хвилі, що визначає променевий характер розповсюдження ультразвуку, а також можливістю досягнення великих значень інтенсивності. Ультразвукові хвилі несуть енергію і можуть відбиватися, заломлюватися і фокусуватися. Ці властивості використовуються, наприклад, в ехолокаторах. У медицині ультразвук застосовується в діагностичних і лікувальних процедурах, від пренатальної ехографії до руйнування каменів в нирках. Ультразвук також використовується для візуалізації внутрішньої структури нирок, печінки, серця і кровоносних судин.

Відомий [2] спосіб вимірювання швидкості кровотоку з використання ультразвуку. Він ґрунтується на принципі ефекту Допплера, явища при якому ультразвукові хвилі відбиваючись від рухомих об’єктів змінюють свою частоту в залежності від швидкості руху об’єктів.

Функціональна схема методу зображена на рис. 1. В процесі вимірювання ультразвуковий випромінювач *1* розміщується над судиною. В судині тече кров, яка складається з великої кількості формених елементів крові, які рухаються з шуканою швидкістю. Вимірювальна ланка пристрою складається з ультразвукового випромінювача *1* та прифмача *2*, діаграмами напрямленості яких перетинаються в області *3*.

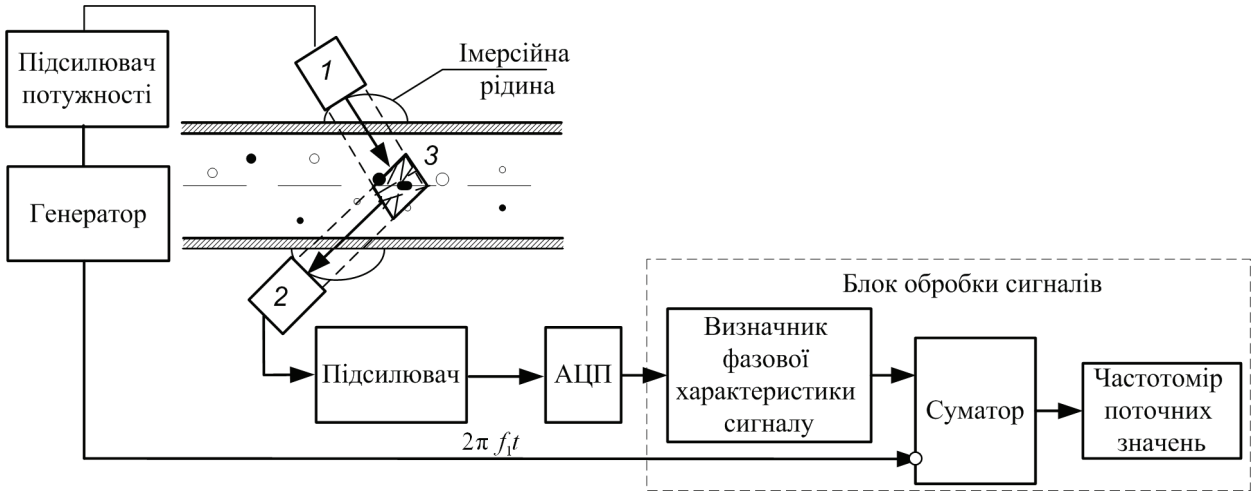


Рис. 1. Загальна функціональна схема вимірювання швидкості кровотоку

Неперервні ультразвукові коливання з частотою f_1, відбиваються від неоднорідних потоків крові в області *3*. При цьому частота ультразвукових коливань змінюється в залежності від швидкості руху формених елементів. Відбиті ультразвукові хвилі сприймаються прифмачем *2* і перетворюються в електричні коливання з частотою f_2, які згодом поступають на підсилювач, і через аналого-цифровий перетворювач (АЦП) далі на блок обробки, який реалізовано на персональному комп’ютері у вигляді віртуального

інструменту в середовищі LabView. Для отриманого сигналу визначають його фазову характеристику (ФХ), після чого знаходять різницю отриманої ФХ – $\Phi(t)$, в якій міститься інформація про допплерівське зміщення частоти, та ФХ вихідного сигналу генератора $\Phi_0(t) = 2\pi f_1 t$. За різницею $\Phi(t) - \Phi_0(t)$ визначається допплерівська частота і швидкість кровотоку. Структурна схема блоку обробки сигналів наведена на рис.2.

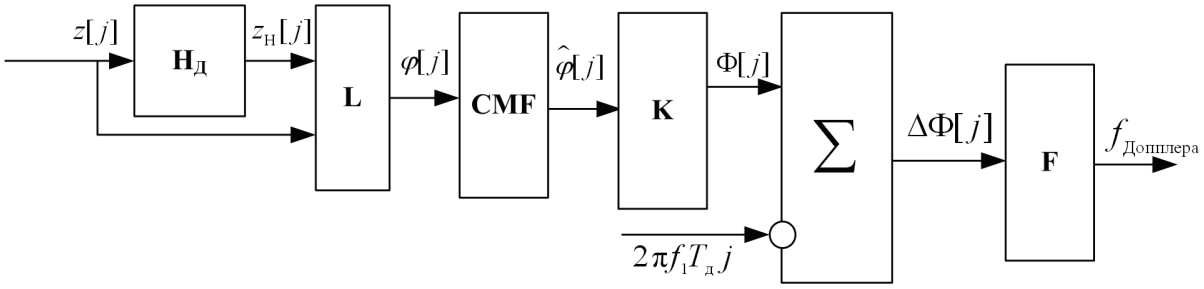


Рис. 2. Послідовність операторів, що входять до складу Блока обробки сигналів

До її складу входять такі оператори:

- **Н**$_{\text{д}}$ – дискретне перетворення Гільберта;
- **L** – визначення дробової частини ФХ;
- **CMF** – фільтрація ковзним вибірковим круговим середнім;
- **K** – розгортка дробової частини ФХ;
- $\sum$ – суматор;
- **F** – визначення поточної частоти.

Постановка задачі.

Вхідний сигнал являє собою ультразвуковий сигнал виду $u_1(t) = U\cos(2\text{p}f_1 t)$, де U, f_1 – відповідно амплітуда і частота сигналу, t – час. Сигнал спостерігається на інтервалі часу $T_c >> 1/f$. Вихідний сигнал перетворювача *2* має наступний вигляд: $z(t) = Uk\cos(2\pi(f_1 + f_d(t))t) + n(t)$, де $f_d(t)$- допплерівське зміщення частоти, $n(t)$ – реалізації гауссівської завади з нульовим математичним сподіванням та дисперсією σ^2, k – коефіцієнт передачі електроакустичного тракту. Доступною опрацюванню є вибірка значень сигналу $\{z[j], j = \overline{1,J}\}$, де $z[j] = u[j] + n[j]$, $J = [\text{Tc}/\text{Tд}]$ – обсяг вибірки, Тс – час спостереження, Тд період дискретизації, Тд << $1/\text{f}_1$. Співвідношення сигнал/завада становить $\eta = \dfrac{U_m^{\,2}}{2\sigma^2} \le 5$.

Необхідно визначити змінну в часі допплерівську частоту за результатами спостереження $z[j]$, оцінити середню відносну похибку визначеної частоти Допплера. Розробити віртуальний інструмент для інтерактивного визначення допплерівської частоти під час різних змін кровотоку людини у середовищі LabView.

Розв'язок поставленої задачі.

Визначення ФХ здійснюється шляхом використання перетворення Гільберта (ПГ). Практична реалізація ПГ і визначення дробової частини ФХ сигналу виконується в дискретному варіанті на основі дискретного ПГ [3]. Визначення гільберт-образу $z_{\text{н}}[j] = \mathbf{H}_{\text{д}}(z[j]), j = \overline{1,J}$ вхідної вибірки дозволяє обчислити наступні характеристики сигналу:

а) дискретну амплітудну характеристику:

$$Z[j] = \sqrt{z^2[j] + z_{\text{н}}{}^2[j]}; \qquad (1)$$

б) дробову частину дискретної фазової характеристики:

$$\varphi[j] = \mathbf{L}(z[j], z_{\text{H}}[j]) = arctg(z_{\text{H}}[j]/z[j]) + (\text{p}/2)\{2 - sign\, z_{\text{H}}[j](1 + sign\, z[j])\}, \quad (2)$$

де sign[] - знакова функція. За відсутності шумів розгортання ФХ може бути здійснено за результатами аналізу функції $\varphi[j]$ (2) оператором $\mathbf{K}(\varphi[j])$, який визначає стрибки дробової частини ФХ між її суміжними значеннями, що перевищують задану порогову величину, наприклад π, і зміщує наступні значення $\varphi[j]$ на 2π.

Сутність фільтрації даних круговим середнім [4] полягає у ковзному переміщенні вікна прямокутної форми відносно кутових даних $\varphi[j]$ і заміні того значення даних, що відповідає центру апертури вікна, круговим середнім, утвореним відібраними апертурою значеннями послідовності $\varphi[j]$.

Позначивши оператор фільтрації як $\mathbf{CMF}_{\text{W}}$, де $\text{W} = 2k+1$ – розмір апертури фільтра, реакцію фільтра визначають як:

$$\hat{\varphi}[j] = \mathbf{CMF}_{\text{W}}\{\phi[j], j = \overline{(j-k),(j+k)}\} = \mathbf{L}(\text{c}[j], \text{s}[j]),$$
$$\text{c}[j] = \sum_{q=j-k}^{j+k} \cos(\phi[q]), \quad \text{s}[j] = \sum_{q=j-k}^{j+k} \sin(\phi[q]). \quad (3)$$

Швидкості кровотоку $\upsilon(t)$ знаходиться як розв'язок рівняння:

$$f_d(t) = f_1\left[\frac{1 - \frac{\upsilon(t)}{c}\cos\theta}{1 - \frac{\upsilon(t)}{c}\cos\hat{\theta}} - 1\right], \quad (4)$$

де c – швидкість розповсюдження ультразвуку в середовищі, $\theta, \hat{\theta}$ – кути між напрямками швидкості тіла і відповідно напрямком падіння хвилі на відбивачі та напрямком від відбивача до приймача.

Запропоновану схему блоку обробки було реалізовано у середовищі LabView. Побудований віртуальний прилад дозволяє моделювати тестові сигнали що імітують процес реального вимірювання, визначати допплерівське зміщення частоти, знаходити похибку її визначення, аналізувати залежності похибки від параметрів сигналів. Віртуальний прилад може бути доповнений блоком АЦП та використовуватись в реальних вимірювальних операціях. Інтерфейс передньої панелі приладу представлений на рис. 3.

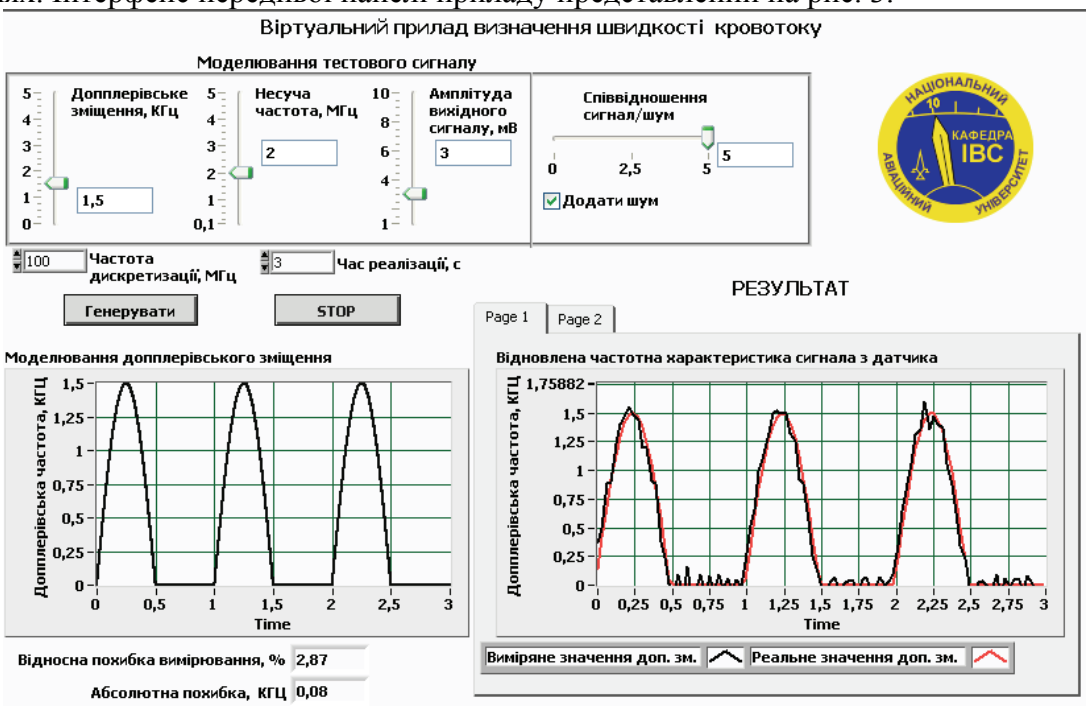


Рис. 3 Інтерфейс передньої панелі віртуального приладу

Він складається з таких основних елементів: блок встановлення параметрів моделювання (частота дискретизації, час реалізації), параметрів досліджуваного сигналу (несуча частота, допплерівське зміщення, співвідношення сигнал/завада) та блок виводу результатів, де представлені результати визначення допплерівського зміщення частоти та визначення швидкості кровотоку (рис. 4) з зазначенням похибок.

Рис. 4 Блок виводу результатів вимірювання швидкості кровотоку.

Для перевірки способу було проведено експериментальне моделювання в ході якого були визначені характеристики точності методу.

Вихідні дані для формування досліджуваного сигналу:

- частота сигналу $f_1 = 2$ МГц;
- амплітуда U=3;
- задане допплерівське зміщення 1,5 кГц
- час спостереження Тс=3с;
- період дискретизації Тд=0,01 мкс;
- обсяг вибірки $J = 3 \cdot 10^8$;
- період пульсацій кровотоку T_p=1с;
- відношення сигнал/завада $з = 5$

Були отримані такі результати:

- відносна похибка визначення допплерівського зміщення, $г_f \cong = 2{,}9\%$;
- абсолютна похибка визначення допплерівського зміщення, Δf =0,08 кГц.

Висновки

В ході дослідження представлений спосіб був реалізований у вигляді віртуального приладу в системі LabView. Було проведено експериментальне моделювання в ході якого було визначено відносну похибку знаходження допплерівського зміщення, яка склала $\gamma_f = 4{,}16\%$.

Список літератури

1. Применение ультразвука в медицине*: под ред.К. Хилла (перевод с англ.). – М.: Мир, 1989. – 568с.*

2. *Хамидулин В.К.* Ультразвуковые контрольно-измерительные устройства и системы. Ленинград:Ленинградский університет .1989.с220.

3. *Куц. Ю.В.* Статистична фазометрія./ *Куц. Ю.В., Щербак Л.М.* – В.:Тернопіль, 2009, –383 с

4. *Дергунов О.В*. Застосування кругового середнього в задачах фільтрації фазових характеристик модульованих гармонічних сигналів./ *Дергунов О.В., Куц. Ю.В., Троць В.М.* – К: Вісник інженерної академії України №3-4, 2010

УДК 621.391:004.942(043.2)

Ю.В. Куц, д.т.н., проф., С.В. Шенгур, асп., Ю.В. Гусєв
(Національний авіаційний університет, Україна)

СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ТА СТАТИСТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ КУТОВИХ ДАНИХ

В статті представлено розроблену в середовищі LabView систему для моделювання та статистичного опрацювання випадкових кутових даних.

Огляд сучасних інженерних та математичних програмних засобів засвідчив певну обмеженість їх можливостей для реалізації задач кутометрії.

Постановка задачі. Необхідно розробити в середовищі LabView систему статистичного аналізу кутових даних з функціями:

- генерування вибірок випадкових кутів (ВК) із заданими розподілом і обсягом;
- обчислення основних статистичних характеристик вибірок ВК;
- визначення довірчих інтервалів при оцінці кругового середнього.

Метою статті є дослідження особливостей обчислення статистичних характеристик для випадкових кутових даних.

В статті пропонується розгляд програмного засобу для моделювання та статистичної обробки вибірок випадкових кутів.

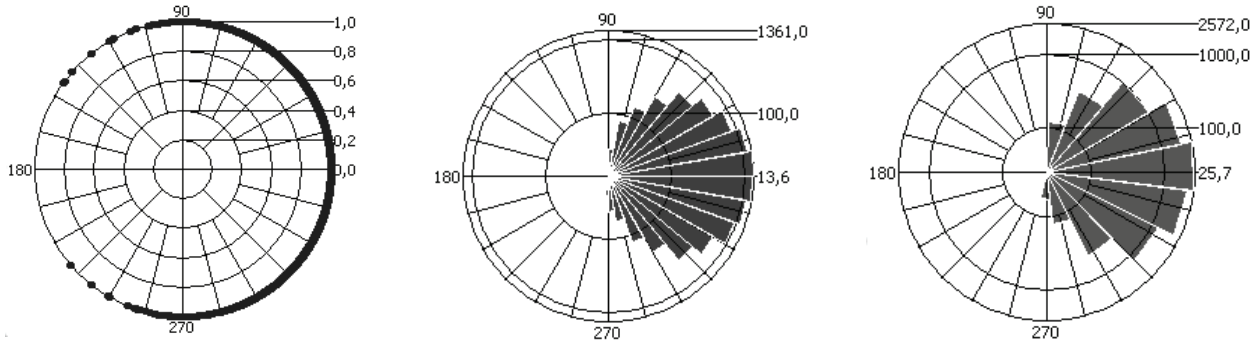
Розроблена система містить наступні модулі:

1. Модуль генерування вибірок випадкових кутів з різними розподілами ймовірності.

Для розширення функціональних можливостей система передбачає формування вибірок малого обсягу зі сформованих генеральних вибірок, що належать до таких законів розподілу, як розподіл Мізеса, намотаний Коші, намотаний нормальний, намотаний Леві та кардіоїдний, – та керування їх параметрами.

Генерування вибірок таких розподілів, як рівномірний, розподіл Мізеса, намотаний нормальний та намотаний Коші розглядалось в [1].

Приклад відображення згенерованої вибірки випадкових кутів з розподілом Мізеса та параметрами $k = 4, \mu = 0$ обсягом 10000 значень представлено на рис. 1.



а б в

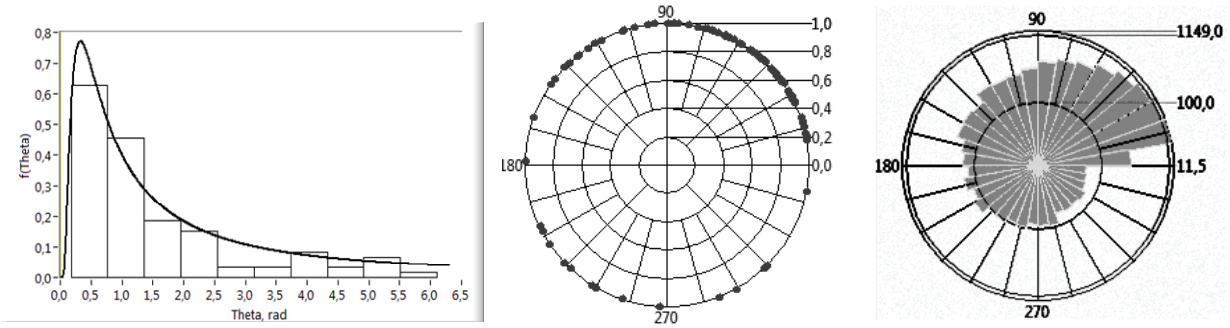
Рис. 1. Приклади кругових діаграм, що відображають вибірку випадкового кута з розподілом Мізеса: а – представлення вибірки на одиничному колі; б – роза вітрів, отримана розбиттям кутової шкали на 36 секторів по 10 градусів; в – роза вітрів, отримана розбиттям вибірки на 15 інтервалів.

Намотаний розподіл Леві є асиметричним з функцією щільності ймовірності:

$$f_{WL}(\theta;\mu;c) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sqrt{\frac{c}{2\pi}} \frac{e^{-c/2(\theta+2\pi n-\mu)}}{(\theta+2\pi n-\mu)^{3/2}},\ 0 \le \theta < 2\pi, \qquad (1)$$

де c – коефіцієнт масштабу, μ – параметр положення. При $(\theta + 2\pi n - \mu) \le 0$ $f_{WL} = 0$.

На рис. 2 показано функцію щільності ймовірності, гістограму вибірки обсягом 100 значень та зображення на колі намотаного розподілу Леві з параметрами $\mu = 0,\ C = 3$.



а б в

Рис. 2. Гістограма вибірки випадкових кутів, розподілених за намотаним законом Леві та його функція щільності ймовірності – а, розсіяння вибірки на одиничному колі – б та кутова діаграма – в.

Кардіоїдний розподіл – це симетричний унімодальний двопараметровий закон розподілу з функцією щільності ймовірності:

$$f(\theta) = \frac{1}{2\pi}\{1 + 2\rho\cos(\theta - \mu)\},\ 0 \le \theta < 2\pi,\ \ 0 \le \rho \le 1/2, \qquad (2)$$

де μ – параметр центру розподілу, ρ – параметр масштабу. При $\rho \to 0$ розподіл прямую до рівномірного. Реалізація випадкового обсягом 100 значень з параметрами $\mu = 0$, $\rho = 0{,}3$ показана на рис. 3 в полярних координатах.

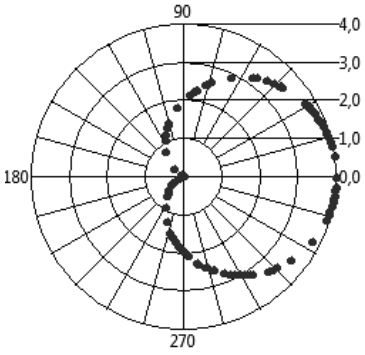
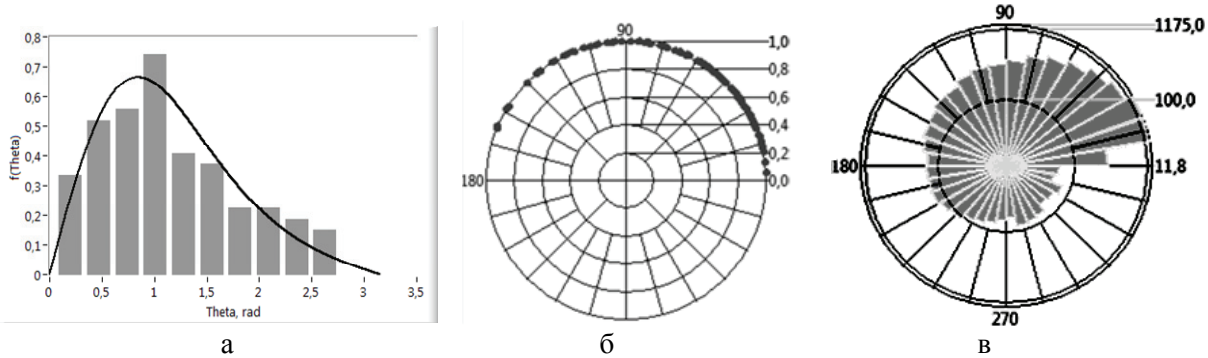


Рис. 3. Реалізація випадкового кута з кардіоїдним розподілом в полярних координатах.

Крім вищезазначених законів розподілу також реалізовано асиметричний закон розподілу, функція щільності ймовірності якого має вигляд:

$$f(\theta; k) = C\sin\theta\exp\{k\cos(\theta)\},\ 0 \le \theta < \pi, \qquad (3)$$

де C та $k > 0$ – параметри масштабу. Його функція щільності ймовірності, гістограма вибірки випадкового кута з параметрами $k = 1{,}2,\ C = 0{,}4$ обсягом 100 значень, та зображення на колі показано на рис. 4.



а б в

Рис. 4. Гістограма вибірки випадкових кутів, розподілених за асиметричним законом (3) та його функція щільності ймовірності – а, розсіяння вибірки на одиничному колі – б та кутова діаграма – в.

Генерування вибірок випадкових кутів, що підпорядковуються зазначеним законам відбувалось методом оберненої функції [7]. Його суть полягає в тому, що неперервну випадкову величину з функцією розподілу $F(x)$, яка існує на інтервалі $x \in (-\infty, \infty)$, одержують шляхом функціонального перетворення ВВ з рівномірним розподілом в області значень $\alpha \in [0,1]$

$$\xi = F^{-1}(\alpha), \tag{4}$$

де $F^{-1}(\bullet)$ – обернена функція $F(x)$. Вважається, що $F^{-1}(\alpha)$ існує.

Панель відображення результатів модельованих даних показана на рис. 5. У якості прикладу показано відображення на колі генеральної вибірки, сформованої за законом розподілу Мізеса, обсягом $M = 10000$, середнім кутом $\mu = \pi$, параметром концентрації $k = 4$, та сформована з неї мала вибірка обсягом $M = 15$. Числові значення кутів малої вибірки в градусах після операції сортування показані на рисунку у вікні “Sorted small sample”.

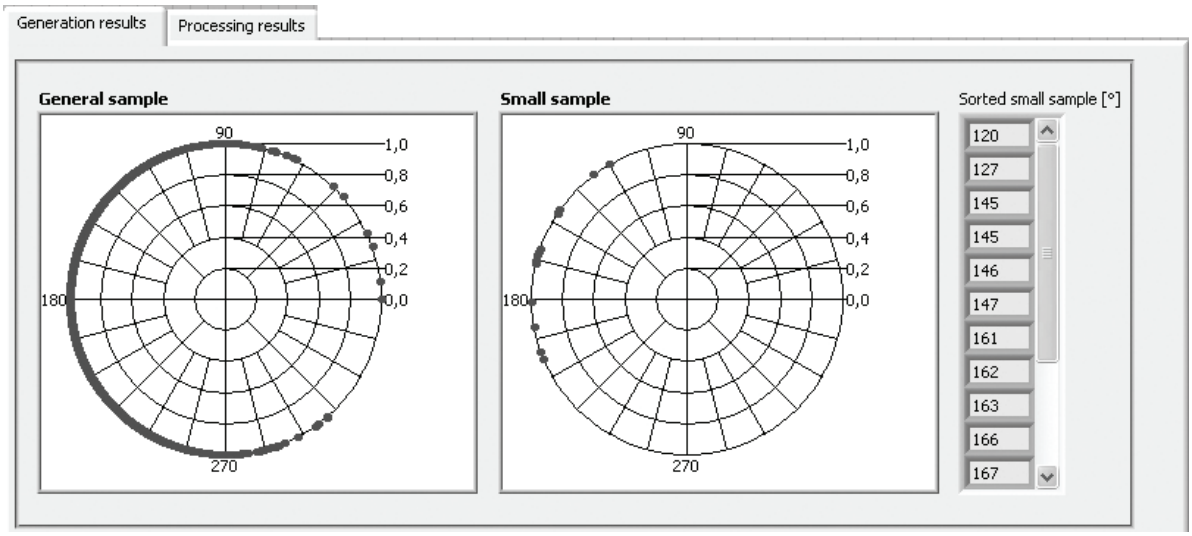


Рис. 5. Панель відображення результатів генерування кутових даних

2. Модуль обчислення статистичних характеристик.

У теорії і практиці вимірювань добре відомі і широко застосовуються числові статистичні характеристики для аналізу розподілених на прямій випадкових величин. Це середнє арифметичне, оцінка дисперсії, СКВ, медіана та ін. Однак використання цих статистик у задачах опрацювання результатів кутових та фазових вимірювань має певні обмеження [3].

Даний програмний комплекс включає розрахунок основних статистичних характеристик випадкових кутів (випадкових фазових зсувів сигналів) за вибіркою $\{\theta_j\}$, $j = \overline{1, M}$, обсягу M:

1) вибіркове кругове середнє:

$$\mu_1 = \{\operatorname{arctg}\frac{S}{C} + \frac{\pi}{2}\{2 - (\operatorname{sign} S) \times [1 + \operatorname{sign} C]\}; \tag{5}$$

де $C = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\cos\theta_j$; $S = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\sin\theta_j$;

2) вибіркова довжина результуючого вектора r:

$$r = \sqrt{C^2 + S^2}; \tag{6}$$

3) вибіркова кругова дисперсія V:

$$V = 1 - r; \tag{7}$$

4) кругове стандартне відхилення статистики різниць ФХС σ:

$$\sigma = \sqrt{-2\ln(1-V)} = \sqrt{-2\ln r}; \quad (8)$$

5) вибіркова мода. Точка кола, в околі якої спостерігається максимальна концентрація значень статистики.

6) вибірковий круговий розмах W – довжина найменшої дуги одиничного кола, що містить вибірку $\{\theta_j\}$ та визначається з варіаційного ряду

$$T_j = \phi_{j+1} - \phi_j, j = 1,...,M-1; T_M = 2\pi - \phi_M + \phi_1; W = 2\pi - \max\{T_1,...,T_M\}; \quad (9)$$

7) вибірковий тригонометричний момент порядку u відносно напрямку α (u – ціле число):

$$T_u(\alpha) = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M} e^{iu(\theta_j-\alpha)} = a_u(\alpha) + ib_u(\alpha) = r_u(\alpha)e^{i\mu_u(\alpha)};\ u = 0,1,2,... \quad (10)$$

$$a_u(\alpha) = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\cos\left[u\left(\theta_j-\alpha\right)\right] = a_u(0)\cos(u\alpha) + b_u(0)\sin(u\alpha);$$

$$b_u(\alpha) = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\sin\left[u\left(\theta_j-\alpha\right)\right] = -a_u(0)\sin(u\alpha) + b_u(0)\cos(u\alpha);$$

$$r_u(\alpha) = \sqrt{a_u^2(\alpha)+b_u^2(\alpha)} = \sqrt{a_u^2(0)+b_u^2(0)} = r_u(0);$$

$$\mu_u(\alpha) = \mu_u(0) - u\alpha;$$

8) вибіркова характеристика асиметрії (ВХА) g_1:

$$g_1 = b_3(\mu_1)/V^{3/2} = r_2\sin[\mu_2(0) - 2\mu_1]/V^{3/2}; \quad (11)$$

9) вибіркова характеристика ексцесу статистики різниць ФХС (ВХЕ) g_2:

$$g_2 = [r_2\cos[\mu_2(0) - 2\mu_1] - (1-V)^4]/V^2. \quad (12)$$

3. Модуль оцінки довірчих інтервалів.

Основними формами представлення похибки результатів вимірювань є розширена невизначеність та довірчий інтервал. Розроблений програмний комплекс має можливість визначення довірчого інтервалу за двома методами – класичним та методом «розкрутки» (Bootstrap method). Класичний метод передбачає оцінку середнього кута $\bar{\theta}$ та емпіричного середнього квадратичного відхилення для кутів вибірки $\hat{\sigma}$, визначення коефіцієнтів Стьюдента з урахуванням гіпотези про близький до гаусівського розподіл кругового серединного кута і формування довірчого інтервалу як $\bar{\theta} \pm t_{n,P_{дов}}\hat{\sigma}$. Методи «розкрутки» або перестановки вперше були описані Бредлі Ефроном у 1979 році. Вони мають ряд модифікацій в залежності від застосування та вимагають великої кількості обчислень [5]. Застосування методу для знаходження довірчого інтервалу випадкового кута полягає у побудові $j = 1...N$ вибірок $\{\theta'_1...\theta'_n\}$ із заданої вибірки $\{\theta_1...\theta_n\}$, визначеннні кутових середніх напрямів $\mu'_1...\mu'_N$ «розкручених» вибірок та побудові з них варіаційного ряду $\mu'_1 \le ... \le \mu'_N$. Для 95% довірчого інтервалу знаходяться 2,5 та 97,5 процентілі.

Для режиму опрацювання вхідної вибірки методом «розкрутки» система передбачає попередню її діагностику та визначення обсягу та прийняття рішення про виконання однієї з двох вбудованих модифікацій методу. Алгоритм для побудови довірчого інтервалу для малих ($n < 30$) вибірок детально описано в [6]. У випадку $n \le 8$ вибірка вважається «дуже малою» та передбачає застосування алгоритму з більшою кількістю обчислень [2]. Значення $n = 8$ було обрано експериментально при проведенні більше 1000 дослідів для двох розглянутих методів та порівняння такого показника, як довжина довірчого інтервалу.

4. Модуль графічного представлення результатів.

Результати генерування та опрацювання випадкових кутів представлені на панелі відображення у вигляді гістограм та кругових діаграм (рис. 7, 8).

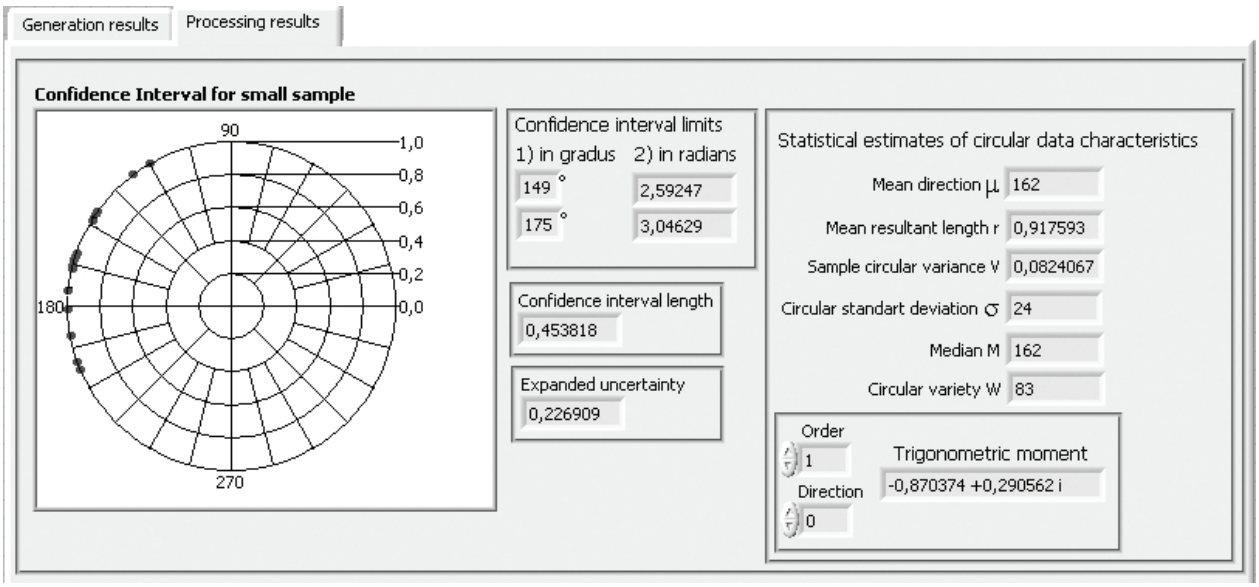


Рис. 7. Панель відображення результатів генерування та опрацювання кутових даних

Панель керування режимами роботи системи представлена на рис. 8.

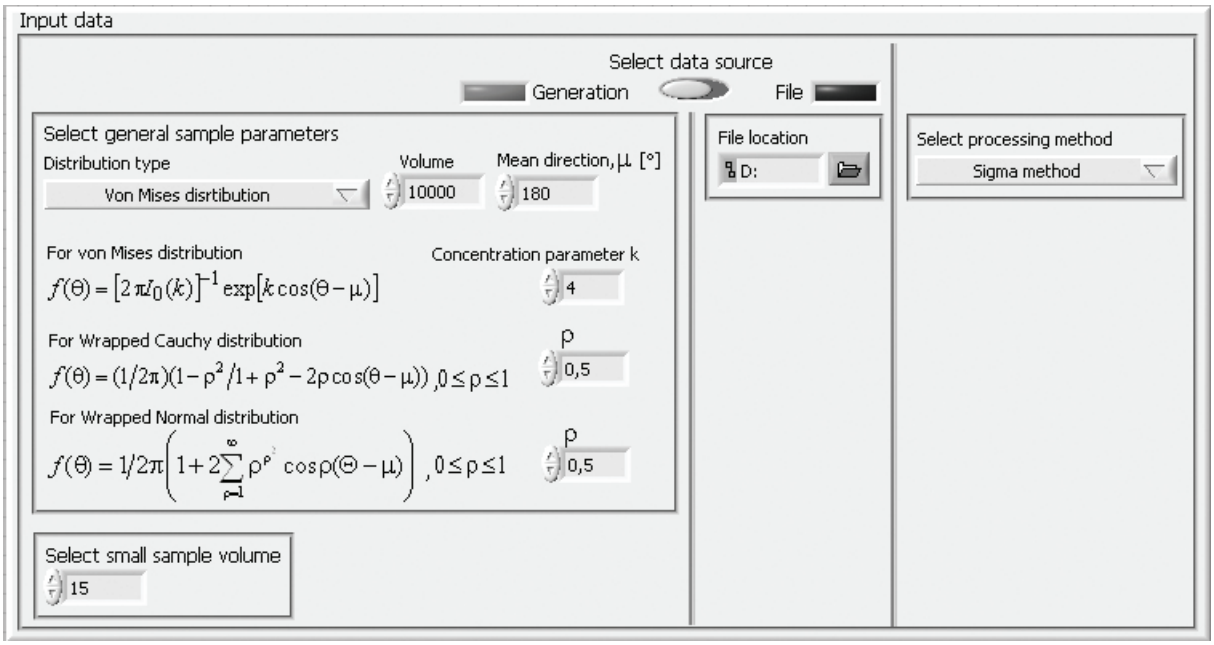


Рис. 8. Панель керування системою

Розроблена систему дозволяє проводити комп'ютерні вимірювальні експерименти з випадковими кутами, порівнювати ефективність різних алгоритмів опрацювання кутових даних, візуалізувати результати розрахунків.

Висновки

В статті розглянуто розроблену в середовищі LabView систему, призначену для опрацювання та моделювання результатів кутових та фазових вимірювань.

Система може бути використана для:

1) моделювання вибірок випадкових кутів з розподілами Мізеса, намотаного Коші та намотаного нормального з можливістю керування їх параметрами;

2) статистичне опрацювання малих вибірок, кутових даних та розрахунок основних статистичних характеристик для вибірок випадкових кутів різного обсягу;

3) визначення довірчих інтервалів для вибірок випадкових кутових значень за двома методами – класичним та «розкрутки» з попередньою діагностикою вхідної вибірки для вибору модифікації методу «розкрутки» в залежності від її обсягу;

5) графічного відображення результатів моделювання вибірок випадкових кутів та результатів їх опрацювання.

Список літератури

1. Circular data simulation: proceedings the fourth world congress ["Aviation in the XXI-st centurx 2010"], (Kyiv, 21-23 September 2010) / Blizniuk E.D., Kuts Y.V., Shengur S.V., Shcherbak L.M. [etc.]. – K.: NAU, 2010. – P. 12.21-12.26.

2. *Fisher N.I.* Statistical analysis of circular data. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.–277 p.

3. *Куц Ю.В*. Статистична фазометрія./*Куц. Ю.В*., *Щербак Л.М*. – В.:Тернопіль, 2009,– 383с.

4. *Mardia K.V.* Statistics of Directional Data / K.V. Mardia and P.E. Jupp – London: Academic Press Inc., 1972 – 415 p.

5. *B. Efron and R. Tibshirani*. Source Bootstrap Methods for Standard Errors, Confidence Intervals, and Other Measures ofStatistical AccuracyAuthor(s): B. Efron and R. TibshiraniSource: Statistical Science, Vol. 1, No. 1 (Feb., 1986), pp. 54-75.

6. *Куц Ю.В., Шенгур С.В., Щербак Л.М.* Характеристика кутових вимірювань при статистиках малого обсягу // Системи обробки інформації. – Збірник наукових праць. – Випуск 4(85). – Харків, 2010, – С.92-95.

7. Куц Ю. В., Бабак В.П. Комп'ютерне моделювання задач кутових вимірювань // Матеріали IV Міжнар. наук.-техн. конф. "Авіа-2002". – Т. 1: Інформаційно-діагностичні системи. –К.: НАУ, 2002. - С.11.1-11.

УДК: 621.891:621.316

С.Ф. Філоненко, доктор технічних наук, професор
О.П. Космач, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВПЛИВ ЧАСУ УСЕРЕДНЕННЯ НА ПАРАМЕТРИ РЕЗУЛЬТУЮЧОГО СИГНАЛУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ ТЕРТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті приведені результати експериментальних досліджень результуючих сигналів акустичної емісії, які формуються при терті поверхонь композиційних матеріалів. Показано зміну основних параметрів результуючого сигналу акустичної емісії при зміні величини інтервалу усереднення.

Вступ

Сучасні технічні системи працюють в умовах активного впливу різних факторів, які істотно знижують їх працездатність і терміни експлуатації. З цієї точки зору методи діагностики таких технічних систем повинні бути чутливими до процесів, що протікають в структурі матеріалів при дії різних факторів (механічне навантаження, температура, швидкість обертання та інші). Одним з таких методів є метод акустичної емісії (АЕ). В основі методу АЕ лежать реєстрація і обробка сигналів, які виникають в результаті випромінювання матеріалом пружних зміщень, спричинених внутрішніми процесами, що протікають в структурі матеріалу не тільки на макро-, але й мікро- і субмікро рівнях. Така чутливість методу дозволяє отримувати значні обсяги інформації, достовірна інтерпретація якої є основою у розробці методів технічної діагностики різних систем. Це повною мірою відноситься і до вузлів тертя.

Кількість робіт, які присвячені дослідженню АЕ в трибосистемах, неперервно зростає. Обробка та аналіз сигналів АЕ при терті направлені на отримання взаємозв'язку параметрів реєстрованого акустичного випромінювання з фізико-хімічними процесами, які розвиваються в поверхневих шарах матеріалів при їх контактній взаємодії. Необхідно зазначити, що проблема інтерпретації та ідентифікації АЕ інформації ускладнюється наявністю ряду впливаючих факторів, таких як навантаження на пару тертя, швидкість обертання, температура, склад мастила та інших. До таких факторів можна віднести й специфіку будови матеріалів, які використовуються в парах тертя – матеріали з традиційною структурою, композиційні матеріали, матеріали з покриттями та інші. Безумовно, що теоретичні та експериментальні дослідження АЕ при терті представляють значний інтерес. У першу чергу, це відноситься до порівняння теоретичних та експериментальних результатів. Одним з напрямків таких досліджень є вивчення АЕ при терті поверхонь композиційних матеріалів, які знаходять все більше використання в різноманітних областях техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У вузлах тертя використовується широкий спектр матеріалів, які підбираються виходячи з призначення та умов роботи трибосистем. Процеси, які розвиваються в поверхневих шарах таких трибосистем, визначаються специфікою будови матеріалів. Безумовно, що АЕ, яка реєструється при вивченні даних процесів, обумовлена особливостями руйнування поверхневих шарів таких матеріалів. Це, в повній мірі, відноситься й до композиційних матеріалів.

Результати теоретичних досліджень акустичного випромінювання при терті поверхневих шарів на основі композиційних матеріалів розглянуто в роботі [1]. В основі побудови моделі результуючого сигналу АЕ використовувалася модель імпульсного сигналу АЕ, який формується при руйнуванні композиційного матеріалу під дією поперечної сили [1–4], з врахуванням концепції руйнування FBM [5–7] та кінетичних закономірностей руйнування [8, 9]. Згідно моделі результуючого сигналу АЕ, який формується при

зношуванні поверхонь з композиційного матеріалу, в роботі [10] проведено дослідження закономірностей зміни його параметрів при дії різних факторів. Було показано, що при терті поверхонь композиційних матеріалів формується неперервний сигнал АЕ, який має порізану форму з деяким середнім рівнем амплітуди і певною величиною її розкиду. При постійному експлуатаційному навантаженні і постійній площі контактної взаємодії зростання швидкості обертання пари тертя призводить до зростання середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ і збільшення величини її розкиду. Якщо площа руйнування елементів композиційного матеріалу охоплює частину площадки контактної взаємодії, то при зміні її місця положення відбувається зростання середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ, а також величини її розкиду.

Задачі дослідження

У роботі буде розглянуто результати експериментальних досліджень результуючих сигналів АЕ, які формуються при терті та зношенні поверхонь вузлів тертя з наплавленням з композиційного матеріалу ВК-6. Буде показано, що результуючі сигнали АЕ є безперервними сигналами з деяким середнім рівнем амплітуди і певною величиною її розкиду. Буде проведена статистична обробка реєстрованих сигналів АЕ і показано, що зміна інтервалу усереднення призводить до суттєвої зміни параметрів результуючого сигналу АЕ.

Методика досліджень

Для дослідження сигналів АЕ при терті використовувалися зразки з алюмінієвого сплаву Д16 з твердосплавним покриттям ВК-6 та сталі 30ХГСА. Зразки представляли собою втулки зі змінною площею поверхні контактної взаємодії. Площа контактної взаємодії для зразків зі сталі 30ХГСА охоплювала всю його торцеву поверхню. Для зразків з алюмінієвого сплаву з покриттям поверхня контактної взаємодії була змінною. Вона характеризувалася коефіцієнтом перекриття K_P (відношення повної площі торцевої поверхні зразка до площі контактуючої торцевої поверхні зразка), величина якого змінювалася в діапазоні від K_P=0,25 до K_P =1,0.

Випробування зразків на зношення здійснювали з використанням конструктивної схеми взаємодії "диск-диск" на модернізованій випробувальної машині СМТ-1. У відповідності зі схемою випробувань, один зі зразків пари тертя був нерухомим, а інший зразок обертався з постійною швидкістю за допомогою електроприводу. Швидкість обертання рухомого зразка становила 500 хв$^{-1}$. При проведенні експериментів до пари тертя прикладалося осьове навантаження, яке складало 450 Н. Осьове навантаження було прикладене на нерухомий зразок і задавалося за допомогою спеціального механізму вагового типу. В якості змащувального середовища в парі тертя використовувалося мастило типу М10Г2К [11]. Його витрата становила 1,2 л/год.

Сигнал з виходу датчика АЕ підсилювався в підсилювальному тракті і поступав до акусто-емісійного діагностичного комплексу (АЕДК). Обробка та аналіз реєстрованих сигналів АЕ здійснювалися з використанням спеціального програмного математичного забезпечення. Програмне математичне забезпечення АЕДК дозволяє проводити збереження реєстрованої інформації з аналізом основних параметрів сигналів АЕ: усереднених амплітуд і енергії, сумарної енергії, накопичення усередненої і сумарною енергії та інших.

Результати досліджень

При проведенні експериментів реєстрація сигналів АЕ здійснювалася на стадії нормального зношення після закінчення етапу припрацювання пари тертя. Отримані результати показали, що при заданих значеннях осьового навантаження та швидкості обертання пари тертя реєстрований результуючий сигнал АЕ представляє собою неперервний сигнал з деяким середнім рівнем амплітуди та величини його розкиду (рис. 1, *а*). Форма результуючого сигналу АЕ є порізаною. Обробка АЕ інформації здійснювалася з

усередненням. Час усереднення складав 10 мс. Введення часу усереднення обумовлено значними об'ємами вихідної інформації, що реєструється в процесі тертя зразків, яку не можливо зберегти у вигляді файлових структур.

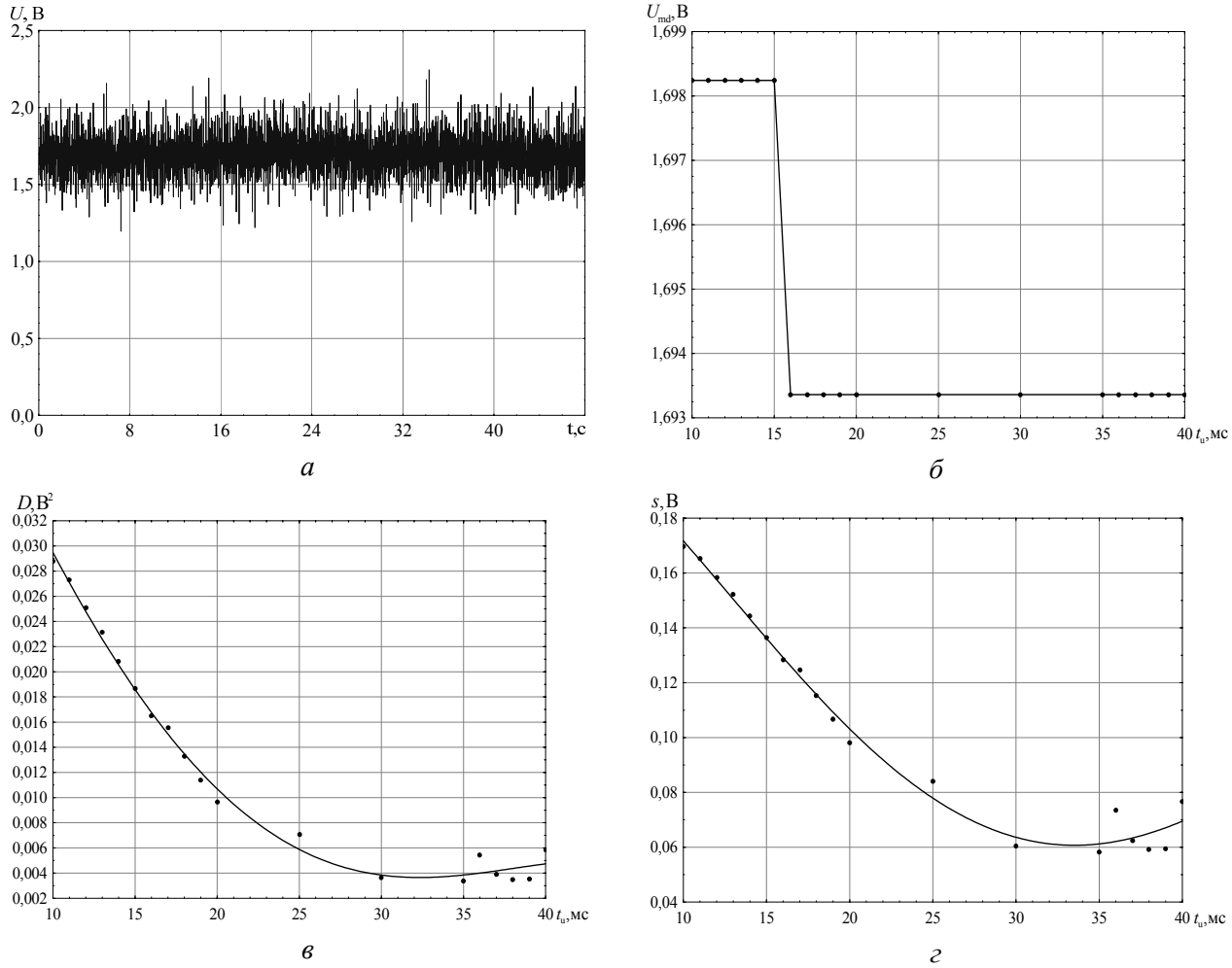


Рис. 1. Результуючий сигнал АЕ, який зареєстровано при випробуванні на зношення зразків зі сталі 30ХГСА та сплаву Д16 з покриттям з композиційного матеріалу ВК-6 (швидкість обертання пари тертя 500 хв$^{-1}$, осьове навантаження 450 Н, час усереднення 10 мс) (а) та графіки зміни середнього рівня результуючого сигналу АЕ U_{md} (*б*), дисперсії D (*в*) та стандартного відхилення s (*г*) від величини інтервалу усереднення t_u

Оскільки реєстрована АЕ є наслідком внутрішніх фізичних процесів, то усереднення (згладжування даних) не повинно впливати або впливати з мінімальними втратами на вклад складових протікаючих процесів в результуючий сигнал. Тому були проведені дослідження впливу інтервалу усереднення на параметри результуючого сигналу АЕ. При проведенні досліджень інтервал усереднення змінювався в діапазоні величин від 10 мс до 40 мс з кроком приросщення 1 мс. Розглянемо результати досліджень для результуючого сигналу АЕ, який зареєстровано при швидкості обертання 500 хв$^{-1}$ на протязі 50 с (рис. 1, *а*).

Статистична обробка даних показала, що для всіх досліджуваних інтервалів усереднення розподіл усереднених амплітуд АЕ з імовірністю 0,95 описується нормальним законом. Аналіз значення медіани $\overline{U}_{md}$ (середнього рівня амплітуди АЕ) в розподілах показав, що зі збільшенням інтервалу усереднення t_u спостерігається стрибок в зміні її величини (рис. 1, *б*). В той же час, зі збільшенням інтервалу усереднення t_u відбувається зменшення дисперсії D і, відповідно, стандартного відхилення s (рис. 1, *в, г*). Такий результат є закономірним, що обумовлено збільшенням згладжування результуючого сигналу АЕ.

З рис.1, *б* видно, що при значенні t_u=16 мс відбувається стрибок в значенні $\overline{U}_{md}$,

величина якого зберігається при подальшому збільшенні значень t_u. Така зміна середнього рівня сигналу АЕ при зростанні величини усереднення, очевидно, обумовлено тим, що при деякому значенні інтервалу усереднення відбувається фільтрація вкладу рівня однієї зі складових процесу, який розвивається в поверхневих шарах пари тертя. Оскільки стрибок в зміні середнього рівня амплітуд не суттєвий (різниця в значеннях медіани складає порядку 0,005 В), то з врахуванням високої чутливості методу АЕ, імовірно, що відбувається згладжування процесів, які дають вклад в результуючий сигнал АЕ на достатньо малому фізичному рівні. В той же час, отриманий результат показує, що з врахуванням необхідності мінімізації втрат від вкладу складових процесів, що протікають, в результуючий сигнал АЕ, обробку реєстрованої інформації необхідно проводити з інтервалом усереднення t_u, значення якого знаходиться в діапазоні величин від 10 мс до 15 мс (рис. 1).

Висновки

При дослідженні АЕ в процесі тертя поверхонь з композиційного матеріалу для порівняння отриманих результатів обробку вхідної інформації необхідно проводити при певному значенні часу усереднення t_u. Вибір інтервалу усереднення t_u є важливим з точки зору інформативності таких параметрів результуючого сигналу АЕ, як середній рівень амплітуди сигналу, його дисперсії і стандартного відхилення. Збільшення значень інтервалу усереднення t_u в певних межах не впливає на середній рівень результуючого сигналу АЕ, однак приводить до зменшення його дисперсії і стандартного відхилення, через що втрачається інформативність даних параметрів.

Список літератури

1. *Філоненко С.Ф.* Модель сигналу акустичної емісії при разрушении композиционного материала под действием поперечной силы /*С.Ф. Філоненко, Т.М. Косицкая, О.П. Космач*, // Новітні технології.- 2011.-№ 2 (51).- С.45-53

2. *Філоненко С.Ф.* Акустична емісія при навантаженні композиційних матеріалів / *С.Ф. Філоненко, В.М. Каліта, О.П. Космач* //Вісник НАУ.-2010.-№ 1.-С.133-142

3. *Филоненко С.Ф.* Модель сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционного материала под действием поперечной силы /*С.Ф. Филоненко, В.М. Калита, А.П. Космач, Т.Н. Косицкая* // Технологические системы.- 2010.-№ 2 (51).- С.45-53.

4. *Філоненко С.Ф.* Моделювання сигналів акустичної емісії при руйнуванні композиційних матеріалів під дією поперечної сили /*С.Ф. Філоненко, О.П. Космач, Т.М. Косицька*//Вісник НАУ.-2010.-№2.-С.85-93.

5. *Shcherbakov R.* On modeling of geophysical problems: A dissertation for degree of doctor of philosophy/*Robert Shcherbakov*. – Cornell university, 2002.–209 P.

6. *Raischel F*. Simple beam model for the shear failure of interfaces/*F. Raischel, F. Kun, H. J. Herrmann* // Phys. Rev.E- 2005.-vol.72.- №4.-P.11.

7. *Raischel F.* Local load sharing fiber bundles with a lower cutoff of strength disorder/ *F. Raischel, F. Kun, H. J. Herrmann*// Phys. Rev. E.- 2006.- vol.74(2).-№3.- P.4.

8. *Маламедов И.М.* Физические основы надежности. Л.:Энергия, 1970.-152 с.

9. *Ибатуллин И.Д.* Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев/ *И.Д. Ибатуллин*. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 387 с.

10.*Філоненко С.Ф.* Модель сигналу акустичної емісії при терті поверхонь композиційних матеріалів /*С.Ф. Філоненко, Т.М. Косицкая, О.П. Космач*, // Новітні технології.- 2011.-№3(52).– С.29 – 36.

11. ГОСТ 8581-78. Масла моторные для автотракторных дизелей // Издательство стандартов. –1978. – 7 с.

УДК.621.891:621.316

В.Н. Стадниченко, к.т.н., А.П. Стахова, м.н.с.
(Национальный авиационный университет, Украина)

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРИБОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ СОСТАВОВ

Проведены экспериментальные исследования при трении, которые показали, что скорость роста и толщина МКС зависят от величины нагрузок, приложенных к парам трения.

Введение. В настоящее время достаточно широко распространились технологии по восстановлению ресурса механизмов и машин, которые включают способы обработки трущихся поверхностей без их разборки и прекращения эксплуатации. Наибольшие распространение получили такие составы как “РВС”, “Nanoprotec” Россия и “ХАДО” Украина [1]. Дальнейшим развитием этой технологии является разработка трибовосстанавливающей смеси “Комбат” [2]. Даная технология образования металлокерамического слоя на поверхностях контакта трибосистем включает в себя приготовление восстановительной смеси, ее подачу в зону трения посредством рабочей жидкости (смазочной среды), приработки пары трения. Трибовосстанавливающий (ТВС) состав готовят на основе минеральных веществ, которые содержат оксид кремния в метастабильном состоянии, или их смесей, и катализаторов [2].

Однако до настоящего времени механизм безизносного трения металлокерамического слоя с условием его подвижности в технологиях триботехнического восстановления остается малоизученным. Подобные исследования являются достаточно трудоёмкими [3,4]. Они предполагают разработку специальных методик для определения эксплуатационных характеристик трибосистем с введёнными ТВС в зависимости от условий контактного взаимодействия. При этом временные затраты на проведение подобных исследований достаточно велики. В тоже время, остаётся проблема, связанная с оценкой состояния пар трения, работающих с ТВС, в условиях эксплуатации.

Следует отметить, что для решения данной проблемы всё большее распространение получают новые методы исследований, позволяющие получить информацию о кинетике процессов, протекающих в материалах в условиях их динамического контактного взаимодействия. Одним из таких методов является метод акустической эмиссии (АЭ) [3,4]. Как показывают результаты исследований [1,2,3,4], он обладает высокой чувствительностью к изменению механизмов изнашивания деталей, определяемых физико-химическими процессами, протекающими в поверхностных слоях материалов на границе их раздела. Это даёт возможность использовать АЭ для разработки методов контроля и методов оценки состояния пар трения с определением стадий изнашивания их материалов.

Методика проведения экспериментальных исследований. Для проведения исследований использовались пары трения из стали 12Х2Н4А. МКС на поверхности контакта получили путём введения в редукторное масло Б-3В ТВС “Комбат”, согласно методике, рассмотренной в работе [3]. Выбор материалов исследованных пар трения и смазочной среды обусловлен их широким использованием в трансмиссиях авиационных газотурбинных двигателей ГТД.

Испытания проводились на универсальной машине трения СМТ-1 с использованием конструктивной схемы “диск-диск”. Согласно этой схеме один из образцов делается неподвижным, а другой вращается на шпинделе машины трения. При этом реализовывался режим трения качения с 20% проскальзыванием. Размеры образцов составляли: $D_{обр}$=25мм, толщина h=15мм. Скорость вращения приводного вала машины трения также выбиралась исходя из максимального приближения к условиям эксплуатации моделируемых узлов трения и составляла 500 об/мин. Для определения максимально возможной нагрузки на

МКС в качестве исходных данных использовали контактные напряжения, полученные при расчете на прочность зубьев вертолётных редукторов, как наиболее нагруженных элементов моделируемых узлов трения. Их значения составляют порядка $\sigma_{макс}$=800-1000 МПа. В соответствии с этим исследовался диапазон рабочих напряжений до 1000 МПа и варьировался в сторону уменьшения с шагом 100 МПа. Для определения толщины МКС использовалось специальное устройство, которое позволяло осуществлять непрерывное фиксирование изменения размера испытываемых на машине трения СМТ-1 образцов [4].

Одновременно с регистрацией толщины МКС мобильным акусто-эмиссионным комплексом проводилась регистрация и обработка сигналов акустической эмиссии (АЭ). Частотный диапазон регистрируемых сигналов АЭ составлял 500кГц – 1МГц. В качестве основных обрабатываемых параметров сигналов АЭ, использовались: усреднённая амплитуда, усреднённая мощность и усреднённая накапливаемая мощность. Время усреднения составляло 0,2 с.

В процессе проведения эксперимента, после выхода пар трения на “нанозносный” режим эксплуатации проводилась остановка испытаний и выполнялись фрактографические исследования поверхностей образцов, а также Фурье-анализ анизотропии структурного состояния поверхностных слоёв по жёстким фотокопиям, полученным на растровом электронном микроскопе “CamScan-4DV” при увеличении $\times 1960$. Основная методология обработки информации и представления её результатов рассмотрены в работе [5].

Результаты эксперимента. Проведённые исследования показали, что при введении ТВС в процессе трения происходит образование МКС, толщина которого определяется, прежде всего, величиной напряжения контактного взаимодействия (приложенной нагрузки). При этом уровень приложенной нагрузки влияет на скорость роста МКС. Так при $\sigma_{макс}$=1000 МПа (рис. 1, кривая 1) образование на роликах нового слоя (МКС) регистрировалось уже через 10 мин с момента введения ТВС. После истечения 3 часов испытаний рост покрытия прекращался, достигнув значения 23-25 мкм. При этом, как показали исследования, при постоянной приложенной нагрузке, процесс роста МКС во времени протекает с изменением его скорости.

В начальный период времени работы пар трения (до 45 мин) скорость образования МКС была небольшой и составляла 1,5-2,5 мкм/ч. Затем, в течение 1-2 ч. она увеличилась до максимального значения - 7,5-8,5 мкм/ч, а к концу 3-5 часов испытаний падала вплоть до нуля. Последующие испытания на протяжении пяти часов показали, что наблюдаются незначительные отклонения, как в сторону возрастания, так и в сторону убывания регистрируемой толщины МКС, что свидетельствует о протекании процесса незначительного износа МКС с последующей его регенерацией.

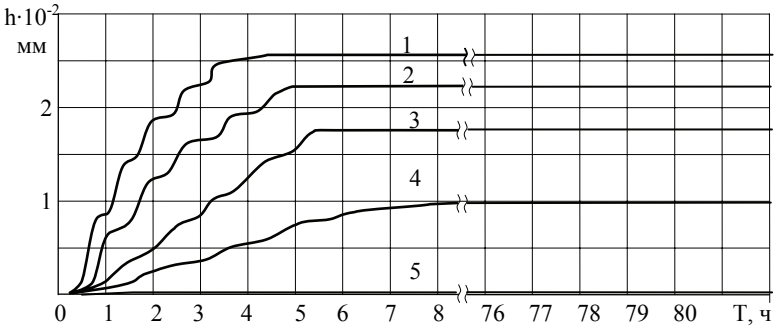


Рис. 1. Скорость образования и толщина МК покрытия в зависимости от контактной нагрузки

1 – $\sigma_{макс}$=1000 МПа; 2 – $\sigma_{макс}$=900 МПа; 3 – $\sigma_{макс}$=800 МПа; 4 – $\sigma_{макс}$=700 МПа; 5 – $\sigma_{макс}$=600 МПа

При уменьшении нагрузки, приложенной к парам трения, характер образования и роста МКС являются подобными. Так при нагрузке $\sigma_{макс}$=900 МПа максимальная толщина образующегося МК слоя составляла $h_{макс}$=20-22 мкм. Завершение процесса его роста прекращалось приблизительно через 5 часов после введения ТВС (рис. 1, кривая 2). С

дальнейшим снижением нагрузки на пары трения происходило увеличение времени образования МКС при одновременном уменьшении его толщины. Так при 800 МПа образование МКС происходило через 5,5 часов после введения ТВС при толщине образованного МКС в 17-18 мкм (рис. 1., кривая 3). Для нагрузки 700 МПа время образования МКС составляло 7 часов, причём толщина образовавшегося МКС не превышала 10 мкм (рис. 1, кривая 4). При $\sigma_{макс}$=600 МПа и ниже (рис.1, кривая 5) образование МКС не фиксировалось.

Результаты обработки сигналов АЭ (рис. 2) показали, что не зависимо от значения эксплуатационной нагрузки в процессе трения образцов в течение первых 8 часов происходит увеличение значения усреднённой и суммарной мощности сигналов АЭ.

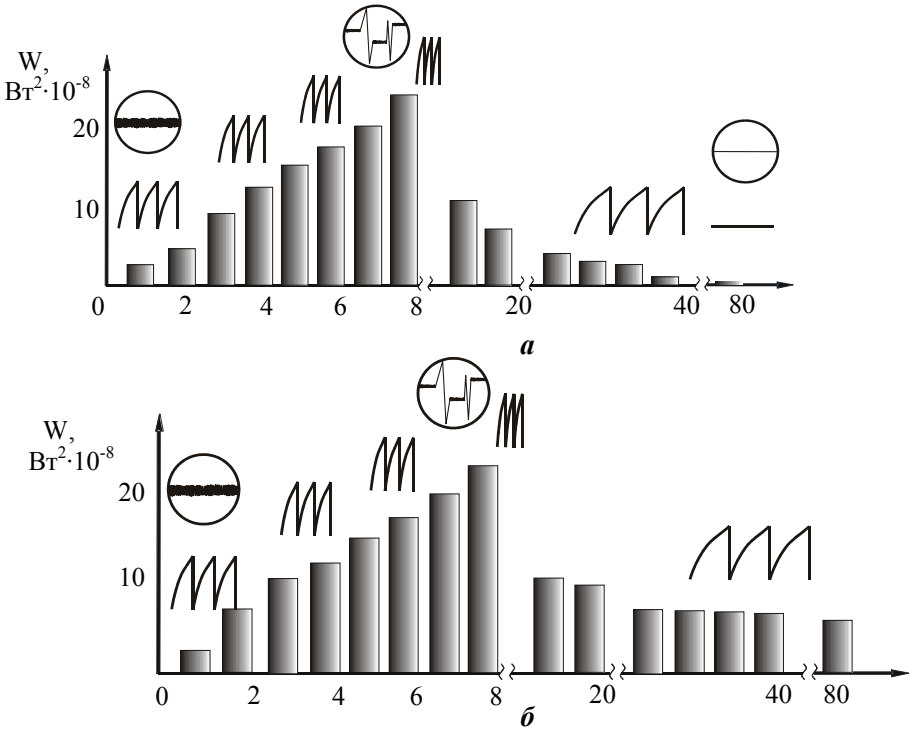


Рис. 2 Характер изменения усреднённой и суммарной мощности W сигналов АЭ

а – $\sigma_{макс}$=1000 МПа; *б* – $\sigma_{макс}$=700 МПа

При этом уровень суммарной мощности приблизительно одинаков и достигает значения порядка $W \approx 25 \times 10^{-8} В^2$ (рис. 2, *а, б*). При дальнейшей работе пар трения (более 8 часов) наблюдается постепенное падение как усредненной, так и суммарной мощности сигналов АЭ, причём с увеличением времени испытаний при уменьшении приложенной к образцам нагрузки “остаточный” уровень значений данных параметров увеличивается (рис. 2, *а, б,* участок 2).

Полученые результаты также показали, что через 80 часов работы пары трения при нагрузке $\sigma_{макс}$=1000МПа значение суммарной мощности сигналов АЭ практически равно нулю, $W \approx 0$. Корреляция данного информативного параметра АЭ с интенсивностью изнашивания [5], позволяет, утверждать о работе пары трения в “нанозносный” режим её эксплуатации. При нагрузке в $\sigma_{макс}$=700 МПа значение суммарной мощности регистрируемых сигналов АЭ после 80 часов работы пары трения фиксировалось на уровне порядка $W \approx 8 \times 10^{-8} В^2$ (рис.2, *б*, участок 3), что свидетельствует о постепенном выходе с “нанозносного” режима и начале перехода пары трения к режиму нормального изнашивания. Данный режим, как показали исследования, характеризуется достаточно низкой интенсивностью изнашивания. Снижение эксплуатационной нагрузки до уровня $\sigma_{макс}$=600 МПа, сопровождается дальнейшим увеличением значения суммарной мощности регистрируемых сигналов АЭ до уровня $W \approx 18 \times 10^{-8} В^2$, что позволяет говорить о переходе пары трения в режим нормального изнашивания.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что по мере

уменьшения эксплуатационной нагрузки происходит снижение износостойкости образованного после введения ТВС металлокерамического слоя. При этом, при нагрузках $\sigma_{макс} \leq 600$ МПа образование МКС не происходит и пары трения работают в режиме нормального изнашивания. Это можно объяснить с позиции различий структуры МКС, образованного при различных значениях рабочих нагрузок.

Фрактографический анализ поверхностей контакта пар трения после их выхода на установившийся режим изнашивания, показал, что их структуры различаются между собой. При нагрузке $\sigma_{макс}=1000$ МПа сформированный МКС состоит из блоков, размер которых незначителен. Уменьшение нагрузки до уровня $\sigma_{макс}=700$ МПа приводит к формированию МКС, в структуре которого наблюдается появление блоков большего размера. При нагрузках $\sigma_{макс} \leq 600$ МПа на поверхности трения образуются лишь отдельные участки МКС.

При этом, как показывает анализ, наблюдается изменение ориентации блоков поверхностных слоёв. Так при нагрузке $\sigma_{макс}=1000$ МПа основная масса блоков, из которых состоит образованный МКС, ориентирована в направлении перпендикулярном направлению возникающей силы трения. С уменьшением нагрузки до $\sigma_{макс}=700$ МПа происходит изменение ориентации блоков структуры МКС в направлении параллельном направлению трения. Дальнейшее снижение нагрузки до $\sigma_{макс} \leq 600$ МПа приводит к тому, что ориентация большинства блоков поверхностного слоя практически совпадает с направлением трения.

Выводы. Таким образом, результаты экспериментальных исследований показали, что скорость роста и толщина образовавшегося МКС зависят от величины нагрузок, приложенных к парам трения с введёнными ТВС. Наибольшее значение данных параметров достигается при максимальных нагрузках. При этом реализуется режим “наноизносного” трения. С уменьшением уровня рабочих нагрузок фиксируется граничное их значение, при котором образование МКС не происходит.

Фрактографические исследования показали, что с уменьшением напряжений контактного взаимодействия происходит увеличение размеров блоков структуры поверхностных слоёв и их переориентация в направлении параллельном вектору силы трения. Подобное поведение МКС, вероятно, связано с уменьшением температуры в зоне контакта.

Чувствительной к изменению механизмов трения, как показали исследования, является АЭ. При этом она позволяет фиксировать не только переход от “наноизносного” трения к нормальному износу, но и осуществлять мониторинг данного перехода. Следует также отметить, что использование АЭ делает возможным оптимизацию режимов работы пар трения с точки зрения, как скорости рост, так и толщины образующегося МКС.

Список литературы

1. *Булатов В.П.* Структурное исследование механизмов безизносного трения конструкционных материалов на основе синергетических представлений / *В.П. Булатов, О.Ф. Киреенко* // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1991. – №2. – С. 56-61.

2. *Стадниченко В.Н.* Об образовании и функционировании МК покрытия, полученного с помощью ревитализантов / *В.Н. Стадниченко, Н.Г. Стадниченко, Р.Н. Джус, О.Н. Трошин* // Вестн. науки и техн. – Харьков: ХДНТ и НТУ “ХПИ”, 2004. – Вып. 1(16). – С. 18-27.

3. *Філоненко С.Ф.* Вплив поверхневих властивостей металокерамічних шарів на акустичну емісію / *С.Ф. Філоненко, В.М. Стадніченко* // Вісник НАУ. – 2005. – №3. – С. 3-6.

4. *Стадниченко В.Н.* Автоматизированная система трибодиагностики / *Стадниченко В.Н.* // Проблеми тертя та зношування. – 2006. – Вып. 46. – С.51-63.

5. *Розенберг О.А.* О структуре поверхностного слоя стали 100Cr6, обработанной лезвийным инструментом из композита 10. / *О.А. Розенберг, С.Е. Делеви, В.Н. Шейкин и др.* // Сверхтвердые материалы. – 1999. – №5. – С. 57-62.

УДК 620.179:534.6

С.Ф. Філоненко, доктор технічних наук, професор,
Т.В. Німченко, асистент (Національний авіаційний університет, Україна)

ПАРАМЕТРИ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ РУЙНУВАННІ ЗРАЗКІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Наведено методику експериментальних досліджень сигналів акустичної емісії та устаткування для випробування зразків з композиційних матеріалів. Розглянуто експериментальні закономірності зміни параметрів сигналів акустичної емісії. Визначені аналітичні вирази для опису експериментальних закономірностей зміни параметрів сигналів акустичної емісії та показана їх інформативність.

Вступ

Композиційні матеріали (КМ) є багатокомпонентними матеріалами, які складаються, з матриці та зв'язки. Особливості їх будови забезпечують отримання певних фізико-механічних характеристик, що в свою чергу, сприяє більш широкому їх використанню. Тому дослідження процесів руйнування КМ являють собою особливу зацікавленість. Для вивчення поведінки КМ під дією механічного навантаження використовують різні методи, одним з яких є метод акустичної емісії (АЕ) [1-3].

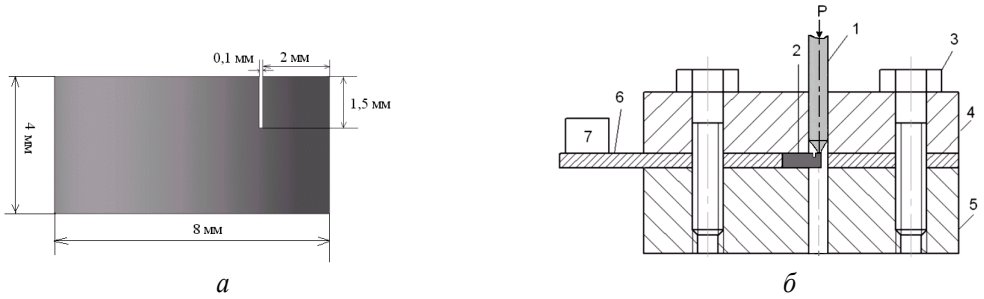
Застосування методу АЕ дозволило дослідити ряд основних закономірностей зміни параметрів сигналів АЕ при руйнуванні КМ та показало його перспективність для діагностики виробів з таких матеріалів. Однак складна структура КМ та проблеми, що пов'язані з дослідженнями процесів їх руйнування, насамперед з кінетикою руйнування, приводять до деяких ускладнень застосування методу АЕ. В першу чергу, це стосується проблеми експериментальних досліджень, які направлені на отримання основних закономірностей поведінки акустичного випромінювання, що формується при руйнуванні КМ. Вирішення подібних задач забезпечить розробку достовірних методів діагностики стану виробів з КМ з урахуванням кінетики процесів, що розвиваються.

Результати експериментальних досліджень

В якості установки для проведення статичних випробувань КМ використовувалася модернізована випробувальна машина FP–10 з електричним приводом. Переміщення активної траверси машини можливо регулювати в діапазоні значень від 0,1мм/хв до 20мм/хв.

При проведенні досліджень були застосовані зразки зі сплаву ВК4. Вони мали форму круглої пластини з розмірами: діаметр – 8мм; товщина – 4мм. На кожній пластині на відстані 2 мм від одного з її країв був зроблений електроіскровий надріз (рис.1, *а*). Для проведення випробувань таких зразків було виготовлено спеціальне прилаштування, в якому здійснювалось жорстке закріплення зразка на нерухомій опорі (рис.1, *б*). Навантаження P на зразок забезпечувалось за допомогою пуансону 1, який рухався у вертикальній площині. Навантаження прикладалося до краю меншої площини зразка 2 за надрізом, в межах 1 мм від його краю. Геометричні параметри закріплення зразка та прикладене навантаження вибирались таким чином, щоб в зоні надрізу створювалось максимальне напруження розтягу.

Зразок з КМ 2, що підлягав навантаженню, встановлювався в спеціальний отвір між двома нерухомими пластинами з твердого сплаву 4 та 5. Пластини закріплювалися затискаючими болтами 3 з усіх чотирьох сторін. В розробленому прилаштуванні була передбачена спеціальна опора 6. Воно використовувалася для запобігання перекосу зразка, який випробується. На виступаючій частині опори 6, через шар акусто-прозорої змазки, встановлювався датчик АЕ 7 (рис.1, *б*). Сигнали з виходу датчика, підсилювались попереднім підсилювачем АЕ, а далі реєструвались та оброблювались за допомогою акустико-емісійного діагностичного комплексу (АЕДК). АЕДК побудований на базі персонального компьютера (ПК) (рис.2). Програмне забезпечення АЕДК дозволяє проводити введення сигналів АЕ в ПК, зберігати вихідні сигнали, які реєструються в реальному



а *б*

Рисунок 1. Загальний вигляд зразка зі сплаву ВК4 з нанесиним електроіскровим надрізом (*а*) та схема його навантаження (*б*): 1 – рухомий ніж (пуансон); 2 – зразок композиційного матеріалу; 3 – затискаючі болти; 4, 5 – нерухомі пластини з твердого сплаву; 6 – пластина для закріплення датчика АЕ, 7 – датчик АЕ.

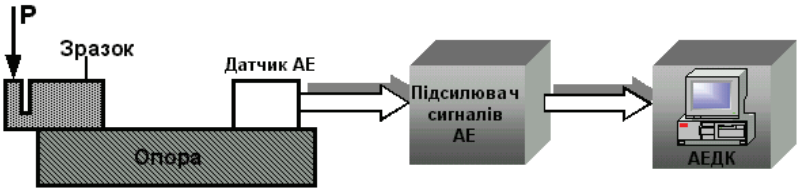


Рисунок 2. Схема реєстрації та обробки сигналів АЕ

масштабі часу, оброблювати та аналізувати основні їх параметри. До таких параметрів відносяться: амплітуда сигналів АЕ; тривалість; енергія; потужність; площу під обвідною сигналу АЕ. Крім того, програмне забезпечення дозволяє транслювати дані в формати математичних додатків, орієнтованих під Windows. Обробка отриманих даних здійснювалась в цифровому та графічному видах. Процес запису сигналів АЕ зупиняли одразу після руйнування зразка.

Випробування зразків на руйнування здійснювали при постійній швидкості введення навантаження, тобто переміщення траверси машини FP–10 здійснювалось за допомогою її рівномірного переміщення у часі ($x = \alpha t$, де x – величина переміщення траверси; α – швидкість її переміщення; t – час). Експерименти проводились при значеннях швидкості переміщення траверси від 1мм/хв до 10мм/хв. Для усунення сигналів, що виникають в результаті тертя у спряжених елементах, реєстрація АЕ здійснювалась після попереднього навантаження зразка. Рівень попереднього навантаження зразка складав 200 Н.

Дослідження, які були проведені, у відповідності до розробленої методики, показали, що незалежно від швидкості навантаження руйнування зразків з надрізом відбувалося практично при близьких значеннях прикладеного навантаження. При цьому акустичне випромінювання, що реєструвалося, мало однотипний характер [4 – 7].

В ході проведення експериментів, також було встановлено, що зростання швидкості навантаження зразків з КМ призводить до зростання параметрів реєстрованих сигналів АЕ. На рис. 3 показано експериментальні закономірності зміни параметрів сигналів АЕ в залежності від швидкості навантаження. З отриманих результатів видно, що амплітуда сигналів АЕ збільшується, а їх тривалість зменшується практично лінійно (рис. 3, *а, б*). Такий результат відповідає теоретичним розрахункам [7], де спостерігаються подібні закономірності зміни аналізованих параметрів. В той же час, енергія та потужність зареєстрованих сигналів АЕ мають нелінійний характер зростання (рис. 3, *в, г*).

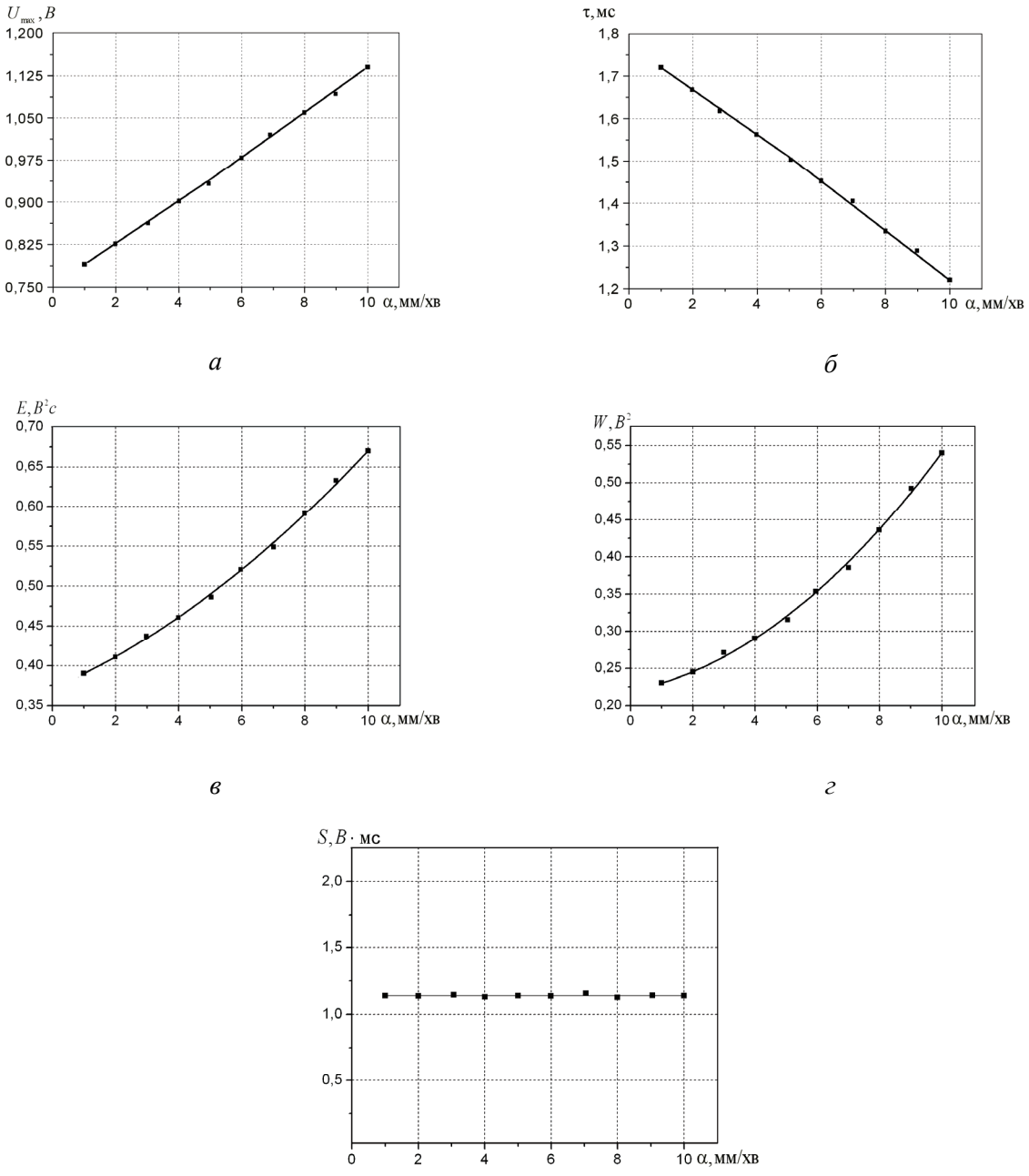
Аналіз отриманих залежностей показав, що зміна енергії та потужності сигналів АЕ від швидкості навантаження описуються експоненціальною функцією виду

$$L = ce^{b\alpha}, \qquad (1)$$

де L – параметр, що обробляється; α – швидкість навантаження зразка з КМ; c, b – коефіцієнти апроксимуючого виразу.

Значення коефіцієнтів c і b для енергії та потужності сигналів АЕ мають наступні величини: для енергії – c=0,37, $b=0{,}06$; для потужності c=0,20, $b=0{,}09$. При цьому дисперсія s^2 при заданій імовірності p складає: для енергії $s^2=0{,}00002$, $p=0{,}99932$; для потужності - $s^2=0{,}0001$, $p=0{,}99807$.

Слід відмітити, що експериментальні закономірності зміни енергії та потужності реєстрованих сигналів АЕ від швидкості навантаження при руйнуванні КМ відрізняються від теоретичних залежностей [7]. Експериментальні залежності зміни енергії та потужності сигналів АЕ (рис.3, *в, г*), мають яскраво виражений експоненціальний характер зміни.



а *б*

в *г*

д

Рисунок 3 – Графіки зміни параметрів сигналів акустичної емісії при руйнуванні композиційного матеріалу ВК4 в залежності від швидкості його навантаження: *а* – енергія; *б* – потужність; *в* – площа під обвідною сигналу акустичної емісії

Однак теоретичні закономірності описуються лінійними зростаючими функціями Подібна відмінність в характері зміни залежностей енергії та потужності сигналів АЕ, імовірно,

зумовлена тим, що крім термоактиваційного механізму руйнування композиційного матеріалу, який покладено в основу теоретичної моделі сигналу АЕ, важливим є і механічний фактор або механічний механізм руйнування. Даний фактор, безумовно, впливає на розвиток процесу руйнування КМ.

Результати експериментальних досліджень також показали, що площа під обвідною зареєстрованих сигналів АЕ не залежить від швидкості навантаження КМ і практично лишається постійною величиною (рис. 3, *д*). Аналіз залежність, яку наведено на рис. 3, *д*, показав, що вона добре описується лінійною функцією виду

$$S = A + B\alpha \qquad (2)$$

де A та B – коефіцієнти, значення яких дорівнюють: $A = 1{,}14$; $B = 0{,}001$. При цьому дисперсія s^2 для імовірності $p = 0{,}9978$ складає $s^2 = 0{,}0045$.

Слід відмітити, що отримана залежність (2) добре узгоджується з результатами теоретичних досліджень.

Висновки:

Отримані результати показали, що при збільшенні швидкості навантаження зразків з КМ відбувається зменшення часу до їх руйнування без практичної зміни величини навантаження руйнування. Це узгоджується з уявленнями механіки руйнування. В той же час, спостерігаються зміни в реєстрованих сигналах АЕ. При збільшені швидкості навантаження відбувається зростання амплітуди та стискання реєстрованих сигналів АЕ в часі.

Аналіз отриманих результатів показав, що амплітуда та тривалість зареєстрованих сигналів АЕ зі збільшенням швидкості навантаження зростають лінійно. Однак енергія та потужність сигналів АЕ мають експоненціальний характер зростання. В той же час, площа під обвідною сигналів АЕ лишається, практично, постійною величиною, що добре узгоджується з результатами теоретичних досліджень. Однак існує різниця теоретичних та експериментальних залежностей зміни енергії та потужності сигналів АЕ. Така зміна зумовлена тим, що окрім термоактиваційного механізму руйнування КМ, важливим є механізм чисто механічного його руйнування.

Список літератури

1. Акустико-эмисионая диагностика степени поврежденности и прочности полимерных композиционных материалов /*Библик И.В., Мелешкин М.Б., Музыка Е.И., Палаткин М.И.* // Акустическая эмиссия гетерогенных материалов. Тематический сборник. – 1986-С. 28-33.

2. *Ржевский В.Р., Нарауллаев Г.Х.* Определение прочностных параметров пучка волокон по данным акустической эмисии // Акустическая эмиссия гетерогенных материалов. Тематический сборник. – 1986-С. 73-76.

3. *Shcherbakov R.* On modeling of geophysical problems/ A dissertation for degree of doctor of philosophy (Cornell university).-2002.-209 P.

4. *S. Filonenko, T. Nimchenko, A. Kosmach* Model of emission signal at the prevailing mechanism of composite material mechanical destruction // AVIATION 2010, vol. 14, no.4. – P.95 – 103.

5. *Филоненко С.Ф., Калита В.М., Нимченко Т.В*. Закономерности изменения акустической эмиссии при разрушении хрупких композиционных материалов // Технологические системы-2009-№ 3(47).-С.27-33.

6. *Филоненко С.Ф., Калита В.М., Нимченко Т.В.* Модель формирования сигналов акустической эмиссии при разрушении композиционных материалов // Технологические системы. – 2009. - №2 (46).-С.17-25.

7. *Филоненко С.Ф., Т.В. Нимченко, Т.Н. Косицкая* Информативность параметров сигналов акустической эмиссии при разрушении композиционных материалов // Технологические системы.- 2009.-№ 4(48).-С.22-28

УДК 681.3.07

М.Б. Гумен, к.т.н., доцент (Національний авіаційний університет, Україна)
О.А. Батіна, Т.Ф. Гумен (НТУУ «КПІ», Україна)

СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ

Запропоновано систему дистанційного керування комп'ютерними зображеннями, яка може використовуватись під час проведення презентацій або лекцій. Дана система відслідковує положення точки лазерної указки на екрані проекції і дозволяє керувати курсором комп'ютерної миші не підходячи до комп'ютера. Система реалізована на ПЛІС, що надає переваги у швидкодії, надійності та простоті реалізації у порівнянні з іншими системами.

Ще зовсім недавно основним обладнанням для проведення презентацій в багатьох закладах були дошки з прикріпленими до них плакатами різних розмірів. На сьогодні основним рішенням для презентацій виступає проектор, екран до нього і ноутбук (ПК), що керує даним проектором. Із розвитком технологій почали з'являтися нові рішення для проведення презентацій.

Інтерактивна дошка [2,3] в рази зручніше звичного проектора з екраном, не замінює весь комплекс обладнання, проведення презентації, а є його складовою. Під час презентації за допомогою інтерактивної дошки до ноутбука підключається не тільки проектор, а й сама інтерактивна дошка. Інтерактивні дошки можна розділити на дві групи: інтерактивні дошки прямої проекції та інтерактивні дошки зворотної проекції. Сучасні інтерактивні дошки також розрізняють за способом отримання інформації. Перший спосіб ґрунтується на фізичному значенні гравітації, коли інтерактивна дошка має гнучку і м'яку поверхню, що забезпечує її деформацію при дотику. Другим способом забезпечення інтерактивності є використання лазерної техніки. Третім способом фіксації дотику до дошки є використання можливостей теорії електромагнітного поля.

Оверхед-проектор (графопроектор, кодоскоп) - це оптичний пристрій, що дозволяє проектувати на великий екран зображення з прозорої плівки формату А4 (297х210 мм) [4]. Зображення розміщується на робочому полі, яке висвітлюється (просвічується) спеціальним джерелом світла, а потім з допомогою лінзи Френеля проектується на екран. За вагою і типом конструкції всі моделі можна розділити на групи: стаціонарні; напівпортативні; портативні. Моделі різних груп відрізняються не тільки дизайном, але і набором додаткових функцій.

Презентери. Останнім часом почали з'являтися пристрої для проведення презентацій (презентери), які суміщають у собі комп'ютерну мишку та лазерну указку, багато з них мають додаткові кнопки для зручності, наприклад, кнопка перемикання слайдів, вверх/вниз, тощо.

Наприклад BTC M961AT III, що має подібне до проектованої системи призначення та функції [5.6], але інший спосіб реалізації, та керуюча лазерна указка компанії Softwerk [7], що також використовує відеокамеру для відстеження положення точки лазерної указки, але має деякі відмінності. Логічні блоки розроблюваної системи на відміну від цієї системи реалізовані на програмованій логічній інтегральній схемі (ПЛІС). Також алгоритми, що використовується для пошуку точки мінімізують руйнівний вплив шумів. Ще одна додаткова функція цього алгоритму це обмеження тремтіння, коли точка лазерної указки статична.

Для пошуку точки лазерної указки на екрані треба вирішити певні проблеми. Перша проблема - це підвищена яскравість зображення з камери – екран виглядає занадто білим і яскравим. Коли відеодані конвертуються в RGB і виводяться на VGA монітор, то картинка виходить занадто яскравою з низьким контрастом. Тому дуже важко знайти тьмяну червону точку лазерної указки на яскравому білому екрані. Інша проблема, пов'язана із пошуком точки лазера - це визначення дійсного розміру точки. В потоку відеоданих та на VGA дисплеї точка лазерної указки складається з дуже маленького числа пікселів (від 2 до 10).

Алгоритми відстеження точки лазерної указки сприйнятливі до випадкового білого шуму у відео і мають недостатньо високу швидкодію, що важливо при швидкому переміщенні точки по екрану. Останній недолік пов'язаний з тим, що при швидкому переміщенні точки по екрану її пікселі ніби розсіюються і, будучи віддаленими один від одного, вони можуть бути сприйняті алгоритмами як шум.

Оскільки деякі виробники програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) пропонують програмні процесори для ПЛІС, що можуть бути модифіковані під певну задачу, а потім вбудовані в ПЛІС, що забезпечує зменшення місця на платі і спрощення проектування самих ПЛІС, для обробки цифрової інформації блоків системи було обрано логіку кінцевих автоматів, реалізовану на ПЛІС, які більш швидкодіючі і компактніші за мікроконтролери і мікропроцесори. Проектування ПЛІС було здійснено на мові Verilog, а відповідну бібліотеку цифрової обробки сигналів було інтегровано в це програмне середовище. Такий напрям систем автоматизованого проектування вважається найбільш перспективним [8,10].

Спроектована система працює наступним чином. Камера спрямовується на проектований екран. Камера вводить свої відеодані в ПЛІС, де вони перетворюються, а потім обробляються, щоб отримати розташування точки лазерної указки на екрані, разом з кутовими координатами екрану. Проектований екран потім порівнюється з комп'ютерним екраном – проектоване зображення не заповнює всю область захоплення камери. Після того, як розташування точки лазерної указки асоціюється з положенням курсору миші, його координати виводяться через протокол PS/2 до комп'ютера, щоб перемістити курсор у відповідне положення.

Крім цієї основної функції, в системі реалізовано інтерфейс користувача з різноманітними режимами. Система має три функціональні режими: неактивний, пошук, і налаштування. Додатково, інтерфейс користувача забезпечує користувача різноманітністю опцій в налаштуванні обробки зображень до кращого вигляду в поточних умовах освітлення. Користувач може вибрати між двома можливими методами виявлення точки лазерної указки і може регулювати різні параметри, які визначають, як лазер знайдений. На рис.1 зображено загальну блок-схему системи і блок-схему обробки зображень.

Для даної системи необхідно щоб камера зняла дані з екрану, на який вказує лазерна указка (надалі проекція або екран проекції), і зберегла їх у пам'яті таким чином, щоб блок обробки зображень розпізнав кадр і положення точки на екрані. Для цього виконується попередня обробка вхідного відеосигналу. Світло від проекції, до потрапляння на камеру, проходить через серію фільтрів, затемняючи вхідний потік світла. Через композитний відеокабель аналогові ТВ дані надходять до аналого-цифрового перетворювача ADV7185, який виводить цифрові YCrCb сигнали до блоку обробки і збереження даних камери, який обчислює RGB (Red Green Blue) дані на основі YCrCb згідно з перетвореннями [12]: $R = 1.164 (Y – 64) + 1.596 (Cr – 512)$; $G = 1.164 (Y – 64) – 0.813 (Cr – 512) – 0.392 (Cb – 512)$; $B = 1.164 (Y – 64) + 2.017 (Cb – 512)$.Ці кольорові дані надходять в оперативну пам'ять, разом із сигналом, що дозволяє запис у пам'ять через кожні 2 цикли синхрогенератора. Як елемент пам'яті можна використати двохпортову оперативну пам'ять Xilinx CoreGen RAM.

Блок обробки зображень використовує певні алгоритми, щоб дістати потрібну інформацію з вхідного відеопотоку, у тому числі розташування червоної точки лазерної указки на екрані і кутових координат проекції. Елемент керування – це система логічних блоків, які організовують і координують дію різних частин обробки зображень, а також приймають і переносять дані користувача і дані з камери до цієї частини системи.

Для пошуку точки паралельно використовуються два різні алгоритми. Алгоритми використовують систему співпадіння кольорів - кожен алгоритм порівнює RGB дані кожного пікселя з певними зразковими значеннями, щоб визначити чи може бути піксель частиною точки лазерної указки. Призначення 1-го алгоритму пошуку точки – мінімізувати руйнівний вплив шумів. Якщо піксель відмічається як частина точки лазерної указки, алгоритм чекає, щоб визначити, чи знаходиться інший «червоний піксель» в межах вказаної відстані. Якщо так, то координати двох пікселів усереднюються шляхом додавання їх координат і

невеликого зсуву вправо на один, результат виводиться як координати центра точки лазерної указки. Якщо піксель не з'являється на визначеному проміжку, процес починається заново, до знаходження наступного «червоного пікселя». Хоч цей алгоритм не дуже сприйнятливий до шумів, але він неефективний, якщо точка лазерної указки швидко рухається. Додатковою функцією цього алгоритму є обмеження тремтіння, коли точка лазерної указки статична. Другий, дещо простіший алгоритм додає до сум *x* і *y*-координат координати кожного «червоного пікселя». Коли лічильник стає рівним чотирьом, кінцеві суми діляться на чотири шляхом зсуву на два біти вправо, і цей результат виводиться як координати центру точки лазерної указки. Ця процедура додавання і зсуву еквівалентна до усереднення. Цей алгоритм менш стійкий до шумів, але він здатний працювати з точкою, що швидко переміщується. Алгоритм пошуку кутів подібний до алгоритму пошуку точки лазерної указки, хоча дещо простіший, оскільки завдання по пошуку дуже маленької групи пікселів простіше.

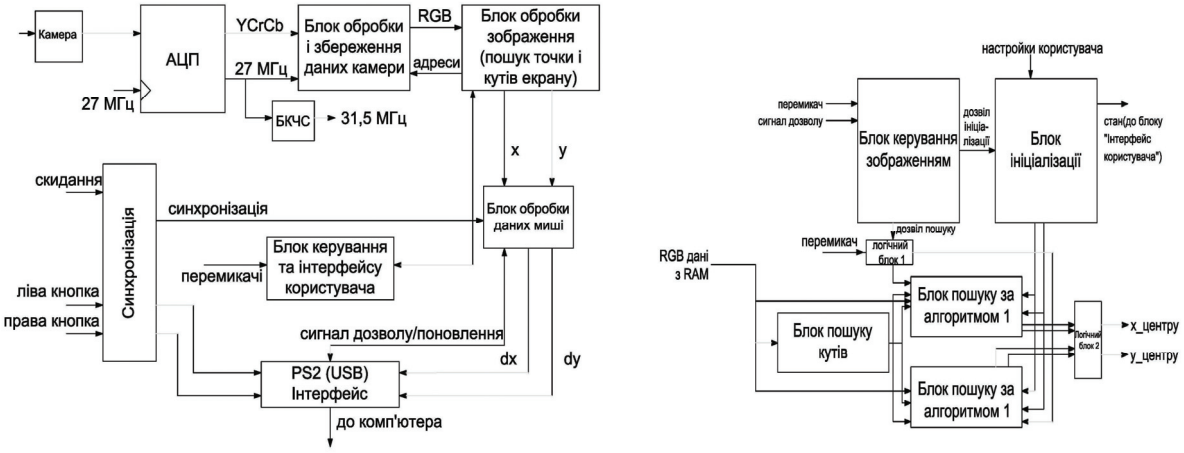


Рис. 1. Загальна блок-схема системи (ліворуч) і блок-схема обробки зображень (праворуч)

Згідно схеми обробки зображень на рис.1, зв'язок між блоком кінцевого ініціалізації і блоками пошуку здійснюється через параметри «верхній» і «нижній», по 24 біти кожний. Зв'язок між модулем пошуку кутів та двома іншими модулями пошуку здійснюється через координати верхнього лівого і нижнього правого кутів, по 19 бітів кожний. Логічний блок 1 обирає сигнал, що визначає, який блок пошуку буде використовуватись, блок 2 визначає передавати координати точки лазерної указки до блоку відтворення чи ні, і координати з якого саме блоку пошуку виводити.

Модуль відтворення приймає інформацію про розташування точки лазерної указки, отриману за допомогою камери і перетворює її в координати пікселів на екрані монітора.

Система керується структурою з двох логічних блоків. Основне призначення першого - блоку керування зображенням це прийом інформації в режимі настройки від користувача та активування і координація дій різних частин блоку обробки зображення. Єдиний керований логічний блок у структурі це блок ініціалізації. Цей логічний блок обробляє дані, введені користувачем у режимі налаштування. Система має три режими роботи – холостий, пошук і налаштування.

В систему входять модулі інтерфейсу, що дозволять користувачу взаємодіяти із системою і пакетувати інформацію про положення точки лазерної указки у потрібний формат, щоб відправити до блоку PS/2(USB) [13]. Цифро-буквений дисплей, призначений для зв'язку з користувачем показує режим, в якому працює система. Блок обробки даних миші перетворює дані про положення точки лазерної указки у формат, який PS/2 інтерфейс може надіслати до комп'ютера. Після того, як блок обробки зображень знаходить позицію точки лазерної указки і перетворює її в координати пікселів на екрані комп'ютера, система має перемістити курсор миші в потрібне положення. Це робиться з допомогою інтерфейсу PS/2. Інтерфейс PS/2 був обраний, оскільки він призначений тільки для клавіатури та миші.

Контролер – логічний блок, що приймає інформацію від блоку обробки даних миші і сигнал дозволу з блоку обробки зображення, і створює відповідний пакет даних, що надсилається до протоколу. Протокол виконує функцію генерування синхросигналів, а також зчитування і запису даних на лінію даних. В системі є логічний блок, що контролює поточний стан протоколу і посилає сигнали, що активують кожний з модулів.

Основні технічні характеристики системи: радіус дії до 20м; спосіб підключення – PS/2; період опитування координат лазерної мишки: 0.02с; роздільна здатність відеокамери: 720x576; кількість режимів роботи: 1; кількість режимів настройки: 3.

Висновки

Розроблена відеосистема дистанційного керування комп'ютерними зображеннями має ряд переваг над системами подібного призначення. На відміну від презентерів, які просто поєднують у собі функції бездротової миші та лазерної указки, дана система набагато зручніша у використанні. Так, під час проведення презентації доповідачу не потрібно шукати жорстку поверхню кожного разу, коли потрібно перемістити курсор або відкрити нове вікно. Порівняно з системами, які так само відстежують камерою точки на проекції, вона точніша, бо має два різні алгоритми пошуку точки, що дозволяє однаково добре протидіяти шумам і працювати з швидко рухомою точкою; також користувач може вручну налаштовувати багато параметрів для кращої роботи системи у різних умовах, реалізована на ПЛІС, що надає переваги у швидкодії, надійності та простоті реалізації у порівнянні з системами, розробленими на мікроконтролерах.

Дана система має також певні недоліки. Не було реалізовано кнопку подвійного клацання, зв'язок через інтерфейс PS/2 можна замінити на бездротовий, під'єднав до порту USB Bluetooth – передавач. Крім основної функціональності для проведення презентацій та лекцій в подальшому система може бути вдосконалена для створення ігрового режиму.

Список використаних джерел

1. Баранов Д.Н., Подураев Ю.В. Интеллектуальное управление робототехническими системами на основе следящей системы технического зрения и нечёткой логики // Экстремальная робототехника: Труды 19-ой Всероссийской научно-технической конференции. – СПб., 2008.
2. www.ped-portal.ru/blog/interaktiv/
3. www.polymedia.ru/cat/node589/
4. www.new-traid.kiev.ua/overxed-proektory.php/
5. www.f1cd.ru/news/input/2/
6. www.ixbt.com/all/index.shtml?13/32/76/
7. www.softwerk.ru /bazsystem_r.htm
8. Тенденции развития ПЛИС и их применение для цифровой обработки сигналов/ [Шипулин С., Губанов Д., Стешенко В., Храпов В.]. – Электронные компоненты, 1999, №5. – с.42 - 45.
9. www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Esu/2009_4/
10. www.masters.donntu.edu.ua/2009/fvti/soldatov/
11. В. Ватолин. Методы сжатия данных / В. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: Диалог – МИФИ, 2002. – 384 с.
12. Гриньов Д.В. Кодирование изображений в цветоразностном представлении / Д.В. Гриньов. – Х.: НТУ „ХПІ", 2003. – № 26. – (Вісник НТУ „ХПІ": зб. наук. пр. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання).
13. www.computer-engineering.org/ps2protocol/
14. Поляков А.К. Языки VHDL и Verilog. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003 – 320 с.

629.7.067.8, 629.7.083.025

Д.А. Нестерук, к.т.н. (Томский политехнический университет, Россия)

ТЕПЛОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ВОДЫ В СОТОВЫХ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Попадание воды внутрь сотовых конструкций самолетов является серьезным эксплуатационным дефектом, приводящим к разрушению сотовых конструкций. Перед авиационно-техническими базами аэропортов встает задача не только качественной диагностики, но и количественной оценки массы воды внутри сотовой конструкции для своевременного принятия решения о ремонте сотовой панели. Рассмотрены подходы к неразрушающему контролю воды в сотовых авиационных конструкциях.

Сотовые конструкции в авиации. В российских и зарубежных самолетах нового поколения широко применяются сотовые конструкции. Сотовые панели представляют собой две обшивки, между которыми находится ячеистая сотовая структура, состоящая из соединенных профилированных листов, образующих замкнутые ячейки квадратной или шестигранной формы [1, 2]. В конструкциях с несущими слоями из алюминиевого сплава материалом заполнителя служит обычно алюминиевая фольга (или гетинакс, текстолит), соединяемая с несущими слоями при помощи клея. Толщина обшивки из дюралюминиевых листов составляет 0.5-1.5 мм, а дюралюминиевой фольги сот - 0.1 мм. Такие конструкции использованы в российских самолетах последнего поколения ИЛ-76, ИЛ-86 и др., а также в европейских аэробусах А-310 (Airbus Industry).

Сотовые конструкции, выполненные из полимерных композиционных материалов (ПКМ), применяют на самолетах АН-72, ИЛ-96, Ту-204, вертолетах Ка-50.

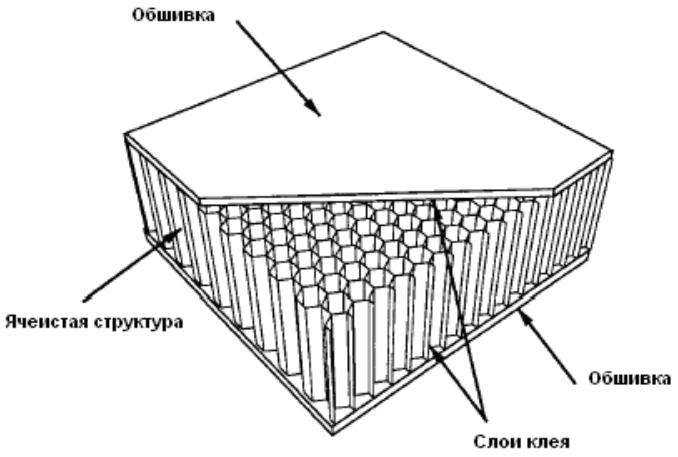


Рис. 1. Конструкция сотовой панели

Сотовые конструкции самолета Ту-204 выполнены из ПКМ двух типов: 1) «Органит» (обшивка) и бумажные соты – неэлектропроводящие материалы, из которых выполнены сотовые клинья рулей высоты, руля направления и панели «зализов» крыла, фюзеляжа в районе отсеков для основных стоек шасси самолета; 2) ПКМ типа углепластика – электропроводящего материала, который используется при изготовлении закрылков, элеронов, тормозных щитков и интерцепторов самолета.

Основными дефектами сотовых конструкций являются: 1) отслоение сот от обшивки вследствие непроклеев и смятия сот (данный вид дефекта возникает как в силу технологических причин, так и в ходе эксплуатации самолетов); 2) вода, заполняющая полностью или частично одну или более ячейку (возникает в ходе эксплуатации самолета в результате попадания воды извне через технологические неплотности панелей крыльев,

фюзеляжа, киля и других частей самолетов). Фактически первый вид дефекта в большинстве случаев также возникает вследствие наличия в сотах воды.

В процессе полета вода претерпевает фазовые превращения, так как температура за бортом самолета может изменяться от -50^0С до $+50^0$С. Увеличение объема воды при замерзании может вызвать разрушение ячеек сотовых конструкций и отрыв обшивки. Наличие воды приводит также к утяжелению сотовой конструкции, что увеличивает взлетный вес и снижает прочность панелей.

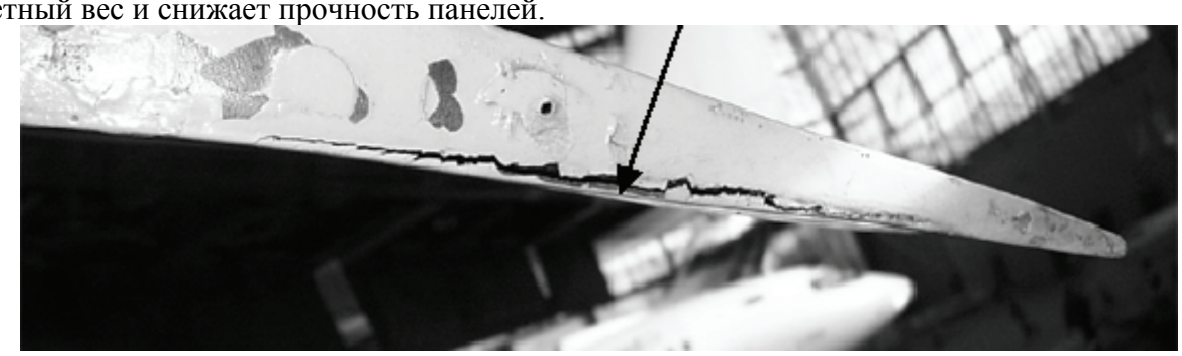


Рис. 2. Пример отслоения обшивки сотовой панели

Методы контроля воды в сотовых конструкциях. Используемые штатно, в российских аэропортах два вида неразрушающего контроля (НРК) воды в сотах - радиационный, и ультразвуковой контроль обладают рядом преимуществ и недостатков.

Радиационный НРК: 1) эффективен только при двустороннем доступе, 2) требует большого количества дорогостоящей рентгеновской пленки, 3) специфические требования техники безопасности ограничивают применение в многолюдных ангарах, 4) не позволяет дать количественную оценку влагосодержанию, 5) обладает низкой производительностью.

Ультразвуковой НРК: 1) большая чувствительность, 2) малая производительность (шаг сетки осмотра составляет около 1 см), 3) контактный характер метода неприемлем для осмотра наклонных и вертикальных поверхностей, 4) большая дороговизна бесконтактных методов контроля (стоимость существующих систем бесконтактного ультразвукового НРК доходит до 1 млн. долларов США). Специалистами ГосНИИ Гражданской авиации (ГА) разработана установка УКВС-1 для ультразвукового контроля воды в сотовых конструкциях (измерительный блок - дефектоскоп УД2В-П46 / УД4-Т; минимально определяемый уровень воды в соте - от 0,5мм; локальность контроля - 5 мм; производительность контроля - 0,5-2 кв.м/ч; допустимый наклон сотового агрегата - до 30 град.; высота расположения сотового агрегата - не менее 1,5-2 м от уровня пола; диапазон допустимых температур - от +5 до $+55^0$ С; допустимо использование при более низких температурах при нагреве воздуха аэродромными подогревателями типа МП-300/МП-85 и использовании в качестве иммерсионной жидкости 50% раствора спирта и воды; питание – 220 В, либо от аккумулятора 9-12 В; время непрерывной работы - не менее 8 часов).

На данный момент **тепловой метод** не является штатно используемым методом НРК в российских аэропортах, но проведенные экспериментальные и теоретические исследования показали ряд преимуществ использования этого метода для обнаружения воды в сотовых конструкциях по сравнению радиационным и ультразвуковым методом.

Тепловой метод НРК – метод основанный на регистрации и визуализации тепловых полей на поверхности объекта контроля. Температурные аномалии на повехности объекта контроля могут служить индикаторами неправильного функционирования или наличия дефектов внутри объекта контроля.

Ряд обследований самолетов Ту-204, ИЛ-86 проведенных в 2003 - 2005 гг. в аэропортах Толмачево г. Новосибирск, Емельяново, г. Красноярск, а также лабораторные исследования в лаборатории теплового контроля НИУ ТПУ, показали, что, при обнаружении воды в сотовых панелях реализуются такие *скрининговые* характеристики теплового (тепловизионного, инфракрасного термографического) метода контроля, как дистанционность, высокий уровень автоматизации и документирования, а также высокая производительность обследований.

Тепловой метод описан в документах по эксплуатации некоторых типов самолетов фирм Boeing (Boeing 777, Nondestructive testing manual, Part 9 – Thermography) и Airbus Industry (A318/A319/A320/A321 Nondestructive testing manual). Следует подчеркнуть, что в данных документах регламентирован *активный* способ испытаний путем нагрева самолетных панелей непосредственно на самолете с помощью так называемого «теплового одеяла», либо в условиях ангара на снятых с самолетов панелях. Детали процедур контроля составляют ноу хау указанных фирм [3, 4]. В ходе проведенных обследований самолетов нами использовался преимущественно пассивный метод теплового неразрушающего контроля, без использования внешних источников теплового нагружения.

На Рис. 3 приведены термограммы правого и левого элеронов самолета Ту-204. Съемка производилась в условиях стоянки самолета. Зоны скопления воды в ячейках сотовых панелей отчетливо видны по локальному понижению температуры (области темного цвета). Температурные сигналы сохранялись в течение около 4-х часов. Следует отметить, что 100% контроль всех сотовых панелей самолета занял около 2 часов. Обследование проводилось с помощью тепловизора Thermovision 570 (частота кадров – 50 Гц, температурная чувствительность 0.08^0C, формат кадра 320x240 элементов, спектральный диапазон – 7-13 мкм), фирмы AGEMA.

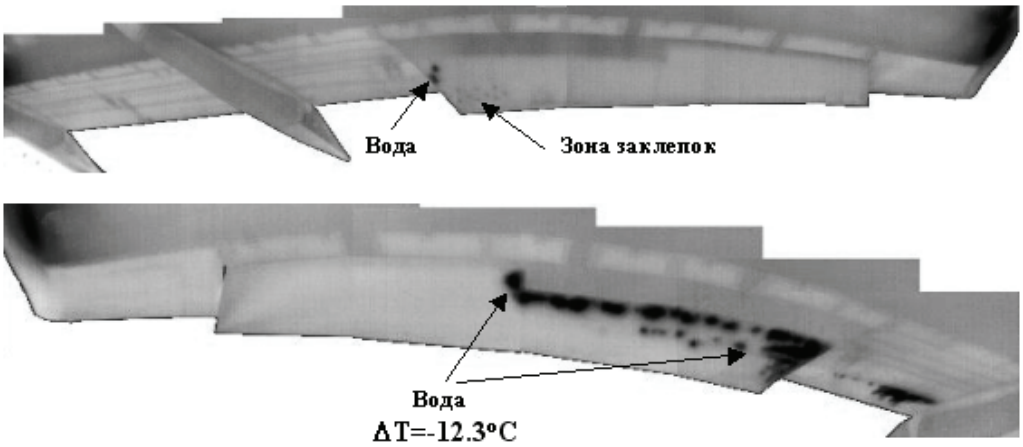


Рис. 3. Термограммы левого и правого элеронов самолета Ту-204

Подходы к определению количества воды в сотах. Для решения задачи как качественного так и количественного контроля воды в сотовых конструкциях самолета в сжатые сроки предлагается использование комбинированного теплового и ультразвукового метода контроля воды [5]. Тепловой метод позволяет получать контуры зон с водой, а ультразвуковой метод – высоту столбика воды, что позволит оценить массу воды в сотовом заполнителе. Предварительные работы по комбинированию метода ТК и УЗ контроля были проведены в рамках работы над кандидатской диссертацией [6], а на способ определения массы воды был получен патент РФ. Данный подход требует разработки специального программного обеспечения для обработки данных по тепловизионному обследованию.

Направления дальнейших исследований. На данный момент имеется ряд вопросов требующих решения в области контроля воды в сотовых авиационных конструкциях. Требует исследования вопрос обнаружении воды в сотовых конструкциях с обшивкой из металлов. Металл обладает высокой теплопроводностью, поэтому температурные аномалии вызванные наличием воды внутри соты не имеют четких границ, что затрудняет идентификацию зон с водой. Кроме того, время существования температурных сигналов от воды в сотах в данном случае значительно меньше чем для обшивки из полимерно-композиционных материалов. Данный вопрос может быть решен подбором оптимальных параметров обнаружения, а также использованием методов активного теплового контроля, что требует дополнительных исследований.

На данный момент разработана методика по обнаружению воды в сотовых конструкциях самолета Ту-204, где подробно описана процедура теплового контроля воды,

указаны условия проведения тепловизионной съемки и требования к аппаратуре, персоналу. Но к настоящему времени эта методика так и не утверждена в ГосНИИ ГА. Утверждение методики позволит штатно использовать тепловой метод обнаружения воды в сотовых конструкциях авиационно-техническими базами аэропортов без получения дополнительных разрешений (что на данный момент существенно усложняет работу в данной области).

Ведутся также работы по разработке специализированного программного обеспечения для упрощения операций по созданию отчетов по тепловизионным обследованиям (создание панорамных изображений, хранение термограмм, стандартная обработка термограмм, оценка массы воды на основании результатов обследований).

Выводы

В данной работе показано состояние проблемы по обнаружению воды внутри сотовых авиационных конструкций тепловым методом неразрушающего контроля. Предложенный метод теплового неразрушающего контроля отличается высоким быстродействием и может быть использован для оперативного, в условиях стоянки самолетов в аэропорту, контроля воды внутри сотовых агрегатов.

Список литературы

1. А.Л. Гиммельфарб. Основы конструирования в самолетостроении. М.: «Машиностроение», 1971. – 312 с.

2. Справочник по композиционным материалам, 2 том / под. ред. Любина Д. – М: Машиностроение, 1988 – 580 с.

3. Boeing 777, Nondestructive testing manual, Part 9 – Thermography, 51-00-01, 51-00-02, 51-00-03

4. A318/A319/A320/A321 Nondestructive testing manual, Part 10, A. 55-20-06 – Thermographic, Page block 1001

5. Д.А. Нестерук, В.П. Вавилов. Особенности применения теплового метода неразрушающего контроля для обнаружения и оценки массы воды в сотовых панелях авиационной техники. – Известия ТПУ №6, том 307, 2004, с. 62-65.

6. Нестерук Д.А. Тепловизионный контроль воды в авиационных сотовых панелях в процессе эксплуатации самолетов.-Кандидатская диссертация по СП. 05.11.13, защищена в ТПУ (г. Томск) 04.10.2005.-142 с.

УДК 548.539.3

К.Ю. Безымянная
(Национальный авиационный университет, Украина)

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ РЕЗИНОПОДОБНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

В работе представлены результаты исследований акустическими методами характеристик упругости новых перспективных резиноподобных титановых сплавов. Использованы методики, позволяющие определять неравномерность свойств упругости по объёму материала и в различных направлениях. Установлено, что исследуемые материалы имеют анизотропию характеристик упругости и неравномерность свойств по объёму. Определены численные значения модулей упругости в различных направлениях.

Современные технологии позволяют получать материалы с уникальными свойствами, в том числе с анизотропией модулей упругости. Однако недостатки технологических процессов приводят к тому, что свойства материала могут быть неравномерны по объему.

Резиноподобные металлические сплавы являются одними из перспективных новых материалов, поэтому важным является изучение их характеристик, в том числе и упругости, с учетом анизотропии и неравномерности свойств материала. Задачей настоящей работы является исследование особенностей формирования свойств упругости металлов на основе титановых сплавов и разработка рекомендаций по отработке состава таких материалов по критерию оптимизации характеристик упругости.

Создание материала с заданными свойствами всегда предполагает отработку его состава. Процесс отработки проходит по результатам моделирования или экспериментально. Прогнозирование комбинации состава и технологических параметров получения материала производится с помощью диаграмм состояния, а ожидаемых свойств – диаграмм состав-свойство. В этом случае важно проверить, действительно ли созданный материал обладает заложенными в него свойствами. При экспериментальной отработке сопоставляются реальные свойства ряда материалов, полученных при различных комбинациях состава или технологических параметров получения материала. В этом случае использование неразрушающих методов оценки позволяет существенно упростить и удешевить процедуру сопоставления. В обоих случаях для отработки свойств материалов при их создании могут быть использованы акустические методы неразрушающего контроля. Необходимое условие такого использования – наличие функциональной или корреляционной связи между отрабатываемым свойством материала и параметром упругой волны или упругих колебаний.

В работе проведен сопоставительный анализ характеристик упругости материалов, полученных вакуумным литьём, на основе Ti с разным содержанием β-стабилизирующих добавок. Исследуемые образцы материалов (рис. 1) представляли собой стержни длиной *l* порядка 40 мм, с прямоугольным поперечным сечением шириной *a* порядка 5мм и высотой *h* порядка 3 мм. В соответствии с этити направлениями проводились измерения импульсным методом.

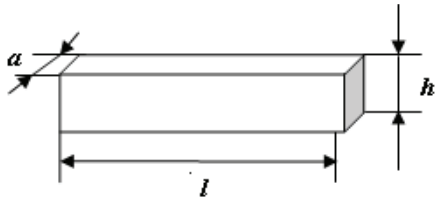
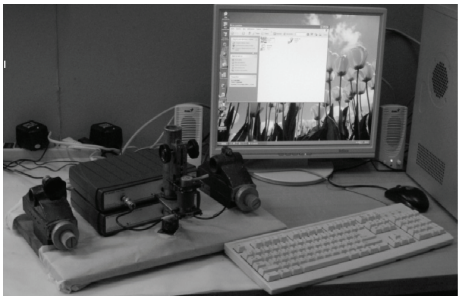


Рис. 1. Образцы для исследований.

Экспериментальные исследования проводились на установке для прецизионных измерений параметров упругой волны, разработанной в ИПМ НАНУ (рис. 2). Для комплексной оценки характеристик упругости материалов был проведен анализ различных акустических методов, основанных на импульсном и резонансном возбуждении образцов. Структурная схема реализации импульсного метода представлена на рис. 3, а резонансного – на рис. 4.

а



б

Рис. 2. Установка для измерений параметров упругой волны: а – аналоговый и б – цифровой варианты.

При импульсном методе измерений наиболее эффективной оказалась схема сквозного прозвучивания образца в разных направлениях при ударном методе возбуждения продольных упругих колебаний [1] в преобразователях с резонансной частотой 5 МГц. Направления и места расположения преобразователей показаны на рис. 5 а, б, в. Использование датчиков сдвиговых колебаний не позволило получить сигнал на приёмном преобразователе из-за больших потерь энергии поперечной упругой воны в материале образцов. Использование метода трансформации на поперечных образующих образца [2] не дало положительных результатов из-за малого поперечного сечения образцов. Поэтому для получения второго модуля упругости был использован резонансный акустический метод. Неравномерность характеристик материала исследовалась путём прозвучивания образцов в различных точках и направлениях (см. рис. 5). Результаты измерений времени и частоты и расчеты модулей Юнга, плотности и коэффициента Пуассона приведены в табл. На рис. 6. представлены рассчитанные значения скорости в трех точках двух направлений каждого образца. Из таблицы видно, что технология создания материала не обеспечивает равномерность формирования свойств.

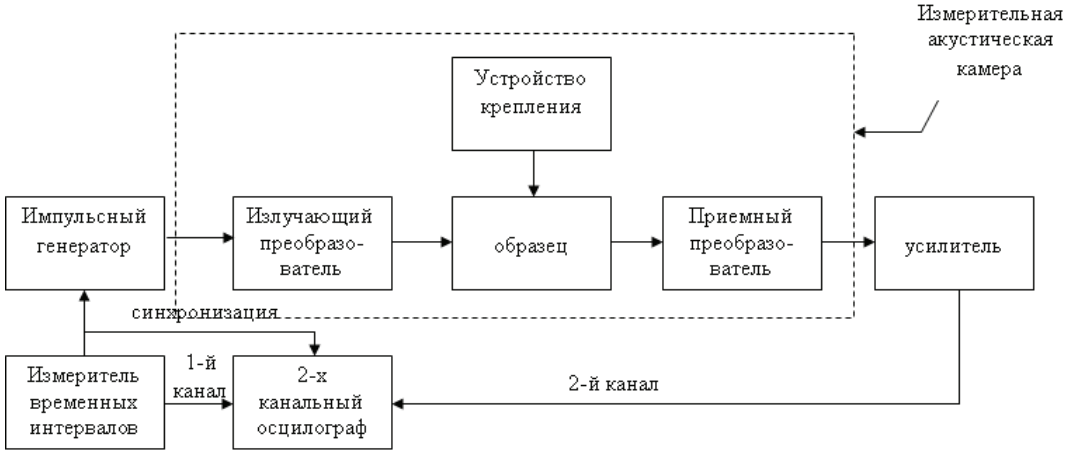


Рис. 3. Схема импульсного метода.

При резонансном методе измерений был проведен анализ различных схем крепления образца (см. рис. 5 г-ж). Результаты исследований показали, что использование спектрального метода [3], реализуемого по схемам крепления образца (г-е) предполагает повышенные требования к акустической измерительной камере. Поэтому, измерения были проведены по классической схеме [2] метода вынужденных колебаний образца со свободными торцами (ж). Резонансный метод в силу своих особенностей не позволяет определять распределение свойств исследуемого образца по объёму. Результаты измерений частоты вынужденных колебаний образцов приведены в таблице.

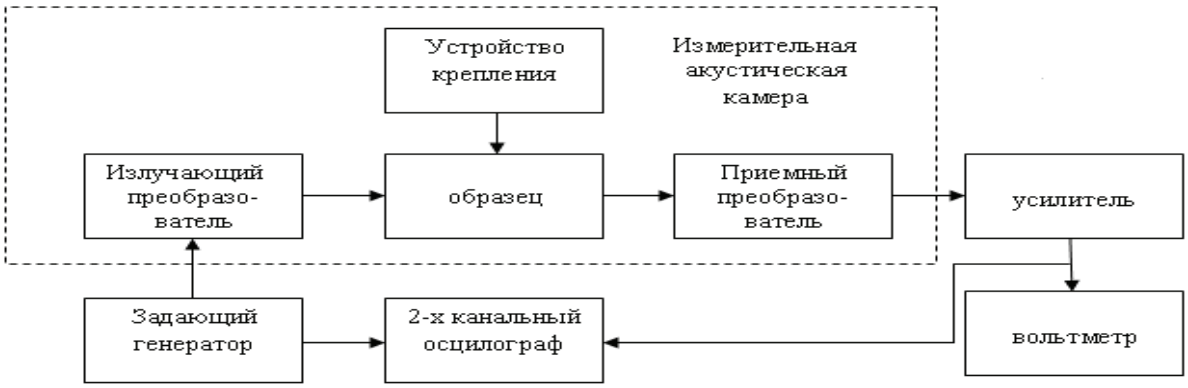


Рис. 4. Схема резонансного метода.

Измерение плотности проводились в соответствии с ГОСТ 18898 – 89 методом гидростатического взвешивания. Результаты измерений приведены в таблице.

Анализ результатов измерений проводился в рамках модели изотропного упругого тела. Модуль упругости (Юнга) определялся классическим методом [2] по результатам резонансных измерений:

$$E = V_{cm}{}^2 \cdot \rho \tag{1}$$

где $V_{cm} = f_{рез} \cdot l$ – скорость прохождения продольной упругой волны в стержне, ρ – плотность образца. Результаты измерений приведены в таблице.

Коэффициент Пуассона μ рассчитывался по формуле:

$$E = \frac{V_l^2 \cdot \rho(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \tag{2}$$

где V_l – скорость прохождения упругой волны, определённая импульсным методом, вдоль направления l. Результаты измерений приведены в таблице.

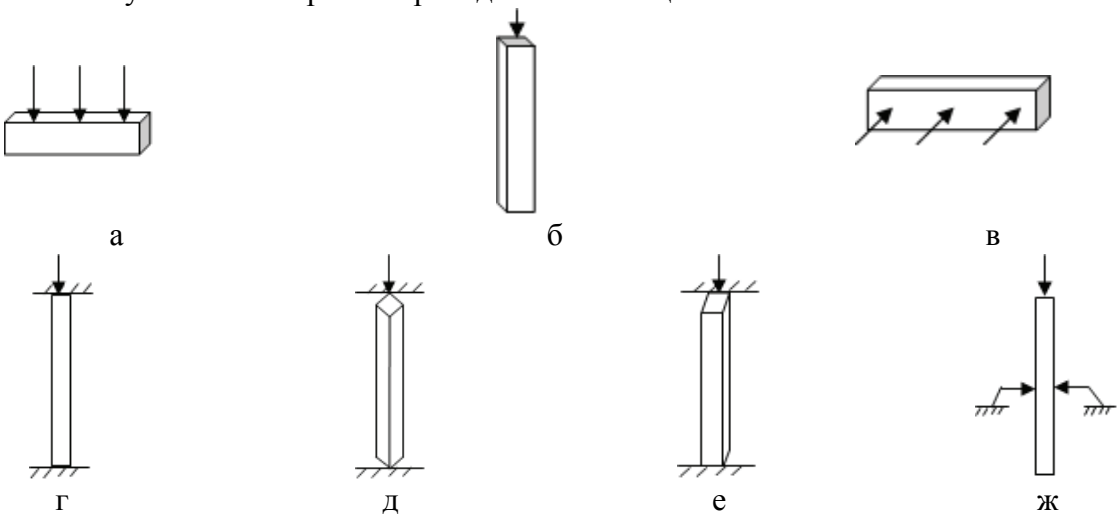
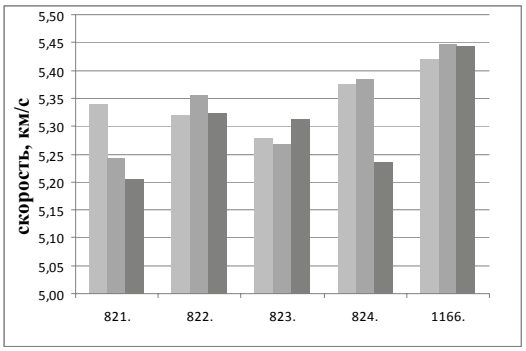
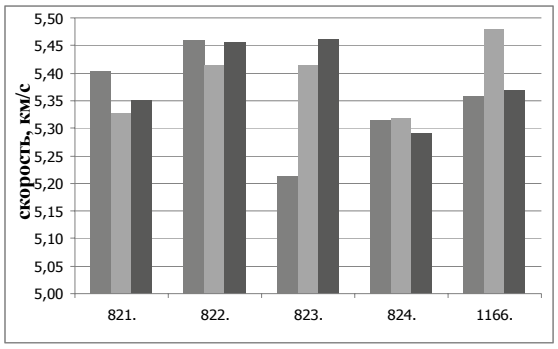


Рис. 5. Направления прозвучивания и варианты крепления образцов
(а, б, в – импульсный метод; г, д, е, ж – резонансный метод)

Полученный коэффициент Пуассона использовался для определения модуля упругости в перпендикулярном направлении по результатам измерений импульсным методом в рамках модели изотропного тела (формула 2). Результаты измерений приведены в таблице.



а



б

Рис. 6. Значения скорости распространения упругой волны в разных направлениях
а – ширина, б - высота

Таблица

№ плавки	Измеренные параметры				Рассчитанные параметры					
	t, мкс (*l*)	t, мкс (*a*)	t, мкс (*h*)	*f, кГц*	ρ, кг/м^3	E, ГПа (*l*)	E, ГПа (*a*)	E, ГПа (*h*)	E, ГПа (*рез*)	μ
821	9,72	1,63	2,17	39,86	5,54	70,44	76,2	73,78	70,35	0,397
822	9,19	1,635	2,175	39,85	5,41	68,35	67,45	64,52	61,48	0,413
823	9,74	1,58	2,19	39,35	5,577	68,71	76,31	72,45	68,71	0,4
824	9,68	1,595	2,02	39,91	5,569	70,83	74,14	74,8	71,86	0,398
1166	9,47	1,605	2,13	39,87	4,818	60,99	63,5	63,65	58,76	0,405

Выводы

Проведенные исследования показали, что материал, полученный путем вакуумного литья, имеет неравномерное распределение акустических свойств по объему и анизотропию характеристик упругости. Использование изотропной модели при оценке характеристик упругости такого материала позволяет оценить реальное распределение характеристик упругости, однако может привести к неправильной оценке реальных характеристик упругости. Поэтому необходимо дальнейшее развитие проведенных работ с учётом анизотропии свойств исследуемых материалов и их неравномерности по объёму исследованных материалов.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.

2. Ермолов И.Н.. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1981. 240 с.

3. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И.П.Голяминой. - М.: Совецкая энциклопедия, 1979, - 400 с.

4. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под ред. В.В.Клюева. Т.3 И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.

УДК: 534.5

А.И. Урбах, хабилитированный доктор инженерных наук,
М.Д. Банов, хабилитированный доктор инженерных наук,
С.М. Дорошко, хабилитированный доктор инженерных наук,
Е.Н. Гарбуз, магистр инженерных наук, Ю.В. Фещук,
(Рижский Технический университет, Институт Технологий Транспортных Машин, Латвия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований кинетики процессов плавления и кристаллизации олова и свинца методом акустической эмиссии.

Изучение механизма формирования кристаллов металлов и сплавов и их поведения в литейной форме представляет значительные трудности и основано главным образом на исследовании структуры и химического анализа материала отливок. Для точного соблюдения технологических параметров необходимо не только исследование физико-механических свойств материала готовых изделий, но и изучение кинетики процессов, происходящих в материале в процессе их производства. В решении этой проблемы использование метода акустической эмиссии (АЭ) является одним из наиболее перспективных направлений [1].

Как известно, при кристаллизации большинства веществ их относительный объем уменьшается [2,3]. Исключение составляют такие вещества как чугун, вода и сурьма, для которых данный процесс сопровождается увеличением относительного объема [4,5]. В любом из указанных случаев наблюдается изменение относительного объема в среднем на 3…10%.

Практически для всех веществ процесс кристаллизации сопровождается скачкообразными изменениями плотности среды за счет движущейся границы раздела фаз расплав - кристалл, что сопровождается эмиссией ультразвуковых колебаний [6].

В данной работе представлены результаты исследований кинетики процессов плавления и кристаллизации легкоплавких металлов – свинца и олова с использованием метода акустической эмиссии.

Свинец содержал до 2% примеси сурьмы, а олово – до 3% примеси меди. Масса исследуемого свинца составляла 200 г, олова - 100 г.

Схемы экспериментальных установок для плавки и кристаллизации легкоплавких металлов приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

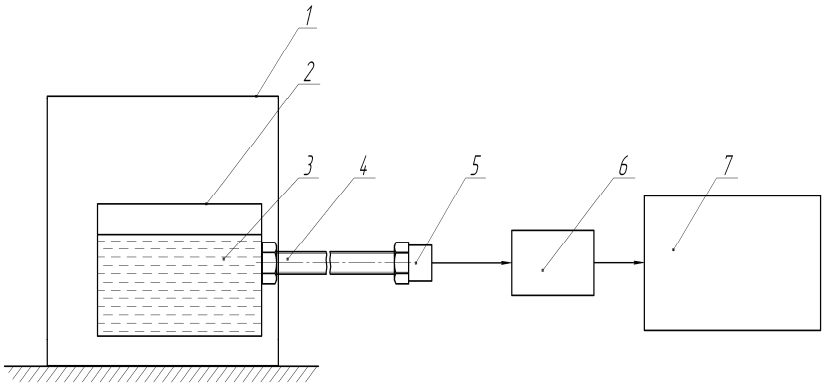


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для плавки: 1– печь, 2– тигель, 3 – исследуемый металл, 4 –звукопровод, 5 – пьезопреобразователь сигналов АЭ, 6 –предусилитель сигналов АЭ, 7 – АЭ прибор

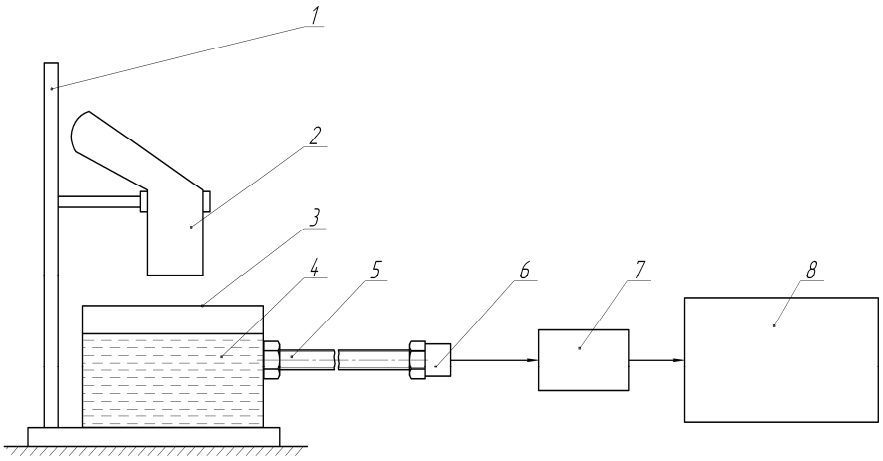


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для кристаллизации: 1 - штатив, 2 – пирометр, 3 – тигель, 4 – исследуемый металл, 5 – звукопровод, 6 – пьезопреобразователь сигналов АЭ, 7 – предусилитель сигналов АЭ, 8 – АЭ прибор

В стальной тигель закладывали один из исследуемых металлов. Далее тигель помещали в печь и нагревали до температуры 600^0 С. Затем тигель с расплавленным металлом вынимали из печи для последующего остывания на воздухе. В процессе остывания регистрировали сигналы АЭ, которые через присоединенный к тиглю звукопровод передавались на приклеенный к нему датчик и далее после предварительного усиления на регистрирующую АЭ аппаратуру.

Данные АЭ регистрировали измерительным комплексом на базе ГСП АРГУС-7 АФ-15 и прибором фирмы PAC POCKET AE - 2. Акустико-эмиссионный прибор ГСП АРГУС-7 АФ-15 представляет собой 2-х канальный регистратор, обеспечивающий измерение суммарной АЭ и интенсивности АЭ (полоса пропускания 20кГц – 2,0Мгц). Прибор фирмы PAC POCKET AE – 2 является портативным двухканальным акустико-эмиссионным прибором, позволяющим фиксировать параметры АЭ. В ходе эксперимента был задействован один акустико-эмиссионный канал и канал параметрического входа. В ходе экспериментов регистрировали параметры сигналов АЭ (интенсивность $\acute{N}_{ae}$, энергию, амплитуду, суммарный счет N_{ae}, длительность, среднюю частоту и значение порога АЭ сигналов), а также время на параметрическом входе прибора АЭ. Полоса пропускания прибора 20кГц – 1,0Мгц.

Фиксацию температуры исследуемых материалов осуществляли через фиксированные периоды времени пирометром.

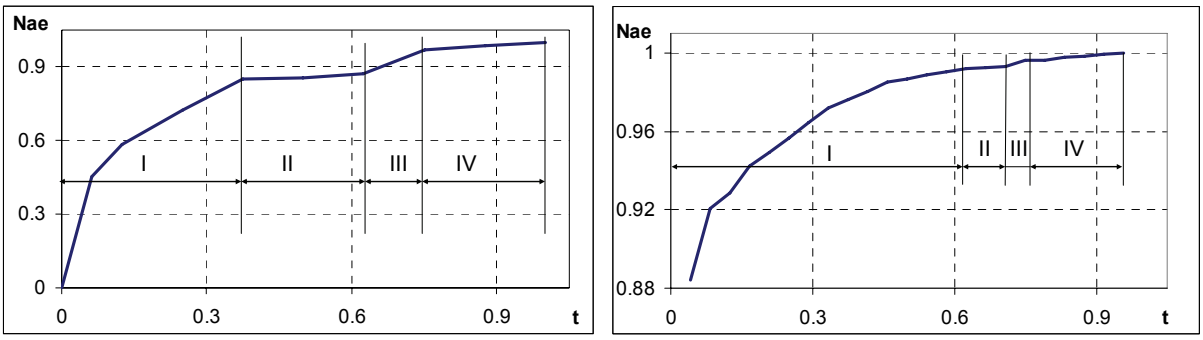
В качестве датчика сигналов АЭ был выбран пьезопреобразователь П113-(0,2 – 0,8) с частотным диапазоном от 200 кГц до 800 кГц.

Для предварительного усиления сигнала применяли предусилитель П113 (прибор АФ-15) с постоянным усилением 40 dB в частотном диапазоне от 20 кГц до 2 МГц и IL-LP-WS (PAC POCKET AE – 2) с постоянным усилением 26 dB в частотном диапазоне от 100 кГц до 1 МГц.

Для удобства анализа и сравнения графики, характеризующие результаты исследования, представлены в относительных единицах.

Для свинца график зависимости суммарной N_{ae} от времени t в процессе плавления показан на рис. 3, а. На начальной стадии плавления наблюдается интенсивный рост сигналов АЭ (этап I, см. рис. 3, а.), который со временем стабилизируется (этап II). На завершающей стадии процесса плавления проявляется небольшой, но очевидный этап повторного роста сигналов АЭ (этап III), после чего процесс замедляется (этап IV). Вероятнее всего, III этап полученной зависимости связан с дальнейшим разрушением более мелких кристаллических структур свинца.

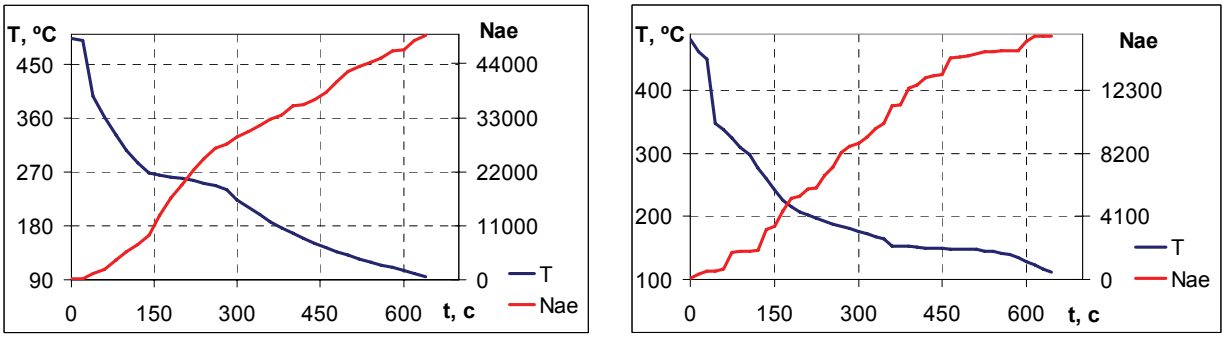
Для олова этап повторного роста (этап III, рис. 3, б) менее выражен.



а) б)

Рис. 3. Зависимость суммарной N_{ae} от времени t в относительных величинах при расплавлении: а) свинца; б) олова

Характер кривой зависимости суммарной N_{ae} и температуры T от времени t (рис. 4) при кристаллизации определяется кристаллическим строением вещества и, возможно, наличием примесей.



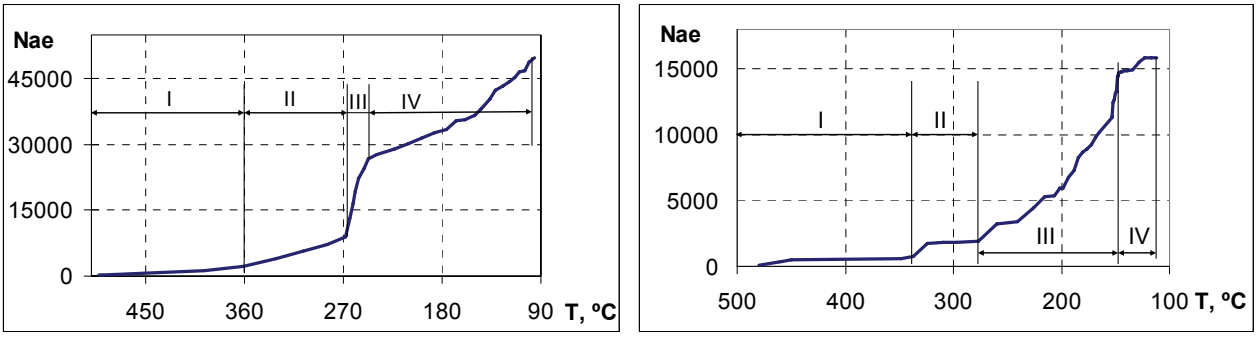
а) б)

Рис. 4. Зависимость суммарной Nae и температуры T от времени t при кристаллизации: а) свинца; б) олова

График, характеризующий процесс кристализации свинца (рис 5, а) можно разделить на четыре этапа. I этап (в пределах температур от 490 ^{0}C до 360 ^{0}C) характеризует начало охлаждения расплава. После чего на этапе II (в пределах температур от 360 ^{0}C до 270 ^{0}C) наблюдалось образование поверхностной пленки. Этап III (в пределах температур от 270 ^{0}C до 250 ^{0}C) соответствует периоду кристаллизации металла. Этап IV (в пределах температур от 250 ^{0}C до 100 ^{0}C) характеризует окончание кристаллизации металла и процесс охлаждения кристаллизовавшегося металла.

В процессе кристаллизации олова также можно выделить четыре характерных этапа (Рис 5, б).

I этап (в пределах температур от 490 ^{0}C до 340 ^{0}C) характеризует начало охлаждения расплава. После чего на этапе II (в пределах температур от 340 ^{0}C до 280 ^{0}C) наблюдалось образование поверхностной пленки. Этап III (в пределах температур от 280 ^{0}C до 150 ^{0}C) соответствует периоду кристаллизации металла. Этап IV (в пределах температур от 150 ^{0}C до 110 ^{0}C) характеризует окончание кристаллизации металла и процесс охлаждения кристаллизовавшегося металла.



а) б)

Рис. 5. Зависимость суммарной Nae от температуры T при кристаллизации:
а) свинца; б) олова

Выводы:

- Информативные параметры сигналов АЭ достаточно достоверно характеризуют процессы плавления и кристаллизации легкоплавких материалов.
- Метод АЭ может быть применен для контроля технологических процессов в литейном производстве.

Список литературы

1. *Трипалин А.С., Буйло С.И.* Акустическая эмиссия. Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 1986, -160 с.

2. *Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл. ред.)* Химическая энциклопедия: в 5 т. — Москва: Советская энциклопедия, 1992. — Т. 2. — 672 с.

3. *Вайнгард У.* Введение в физику кристаллизации металлов - М.: Мир, 1967. - 170 с.

4. *Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл. ред.)* Химическая энциклопедия: в 5 т. — Москва: Советская энциклопедия, 1988. — Т. 1. — 625 с.

5. *Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл. ред.)* Химическая энциклопедия: в 5 т. — Москва: Советская энциклопедия, 1995. — Т. 4. — 639 с.

6. *Жекамухов М. К., Шокаров Х. Б.* О природе высокочастотных акустических волн, возникающих при кристализации и плавлении веществ www2.fep.tsure.ru/books/conferenc/pem2000/pape1/ai21.pdf

УДК 00.70.41

И.М. Исмаилов, доктор технических наук, Н.В. Годжаева
(Национальная академия авиации, Азербайджан)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрено состояние разработки средств информационного обеспечения пилотажно-навигационного комплекса современных ВС, определены направления использования новых концепций информационного обеспечения в подсистеме «Э-ВС». Предложена комплексная система посадки ВС с совместным использованием спутниковой и пилотажной информации

В информационном обеспечении подсистемы «Экипаж-воздушное судно» («Э-ВС»). Особое значение придается обмену измерительной информацией. На основе которой решаются три взаимодополняющей задачи:

1) оценка контролируемых параметров состояния ВС;
2) диагностика ТС обеспечения функционирования и ВС в целом;
3) прогнозирование контролируемых параметров состояния ВС.

Для оценки истинных значений параметров состояния ВС экипажу в полете приходится производить соответствующие расчеты для исключения методических, аэродинамических и инструментальных погрешностей. Однако большие скорости современных ВС не позволяют экипажу производить сложные расчеты. Кроме того, расширение диапазона и повышение необходимой точности измерений, увеличение количества измеряемых параметров и объема измерительной информации при жестком ограничении габаритных размеров и массы приборов, а также необходимость выдачи пилотажно-навигационной информации в виде электрических сигналов обусловили необходимость комплексирования отдельных разнотипных приборов, в системы и комплексы. При этом определяющее значение придается точности и достоверности измерительной информации. Улучшение точностных характеристик бортовых средств измерения и повышение достоверности выдаваемой измерительной информации относятся к числу важнейших задач, стоящих перед разработчиками.

Анализ эксплуатации ВС в экстремальных условиях, позволяет сделать общий вывод, что пилоты наиболее часто ошибаются при восприятии и оценке информации, а также при принятии решения. Поэтому в настоящее время потребовалось коренное изменение в структуре подсистемы «Э-ВС», направленное на создание принципиально новых систем управления и информационного обеспечения.

Решением проблемы в подобной ситуации является использование новых концепций информационного обеспечения в подсистеме «Э-ВС». Среди таких подходов следует выделят:

- использование интеллектуальных бортовых экспертных систем в помощь экипажу;
- использование нейросетевых методов обработки информации, аппаратно поддержанных с помощью специализированных нейрокомпьютеров;
- применение многоуровневой информационной системы эргатического интегрированного бортового комплекса в направлении реализации адаптивных навигационных систем;
- переход к связям с сетевыми принципами организации обмена информацией, характерной для интерфейсов как междумодульного, так и межсистемного уровней;

- использование алгоритмических методов коррекции инерциальных навигационных систем (ИНС) в автономном режиме путем формирования информации о параметрах движения ЛА, внешней по отношению к ИНС;

- использование спутниковых навигационных систем для формирования и введения корректирующих поправок в пилотажную информацию с целью повышения точности и достоверности полетной информации.

Часть подходов указанных концепций рассмотрены в работах[3,4,5].В данной работе предложен подход использования спутниковых навигационных систем в концепции улучшения информационного обеспечения пилотажно-навигационного комплекса.

Как было указано выше, на современном этапе развития авиации проблема повышения точности и достоверности как навигационной, так и пилотажной информация стала приоритетной в обеспечении безопасности полетов. Данная проблема тесно переплетается также с деятельностью экипажа, который принимает решение по результатам анализа значительного объема информации, часто в условиях, как дефицита времени, так и неточной информации. Это особенно относится к этапу посадки воздушного судна (ВС), являющегося трудным и ответственным этапом полета.

Трудность этапа посадки воздушного судна (ВС), прежде всего, обуславливается необходимостью осуществления данного этапа с высокой точностью. Для безопасной посадки ВС на взлетно-посадочную полосу (ВПП) необходимо иметь достоверную и точную информацию о следующих параметрах: высота и координаты ВС, скорость полета, точное определение направления посадки на ВПП, метеорологическая обстановка и т.п. Кроме того, системы посадки на аэродроме и бортовое оборудование должны работать с высокой точностью и надежностью.

В настоящее время наряду с традиционной системой посадки ILS (Instrument Landing System), которая по своей точности входит в состав наземного оборудования точных систем посадки, в силу динамично развивающихся технологий спутниковой навигации широко используются системы дифференциальной спутниковой навигации точных заходов на посадку по второй и третьей категориям метеоминимума. Краткая характеристика дифференциальной GPS системы посадки показывает, что данная система обеспечивает достаточной информацией пилота для выполнения санкционированных действий по управлению самолетом при заходе на посадку. Пилот обеспечивается дополнительной информацией, необходимой для захода на посадку, используя для этого модифицированные устройства GPS Navigator, объединенные с Trimble DGPS. Однако, в том и в другом случае при посадки ВС используется наземное оборудование посадки.

Следует отметить, что в чрезвычайных ситуациях (землетрясение, наводнение, случаи, связанные с террористическими актами и т.п.) из-за потери работоспособности и надежности наземного оборудования, вероятность безопасной посадки ВС в таких случаях уменьшается. Поэтому, в указанных особых, а также при обычных условиях (нормальных) полета для обеспечения безопасной посадки ВС, уменьшения психофизиолигической нагрузки экипажа на данном этапе целесообразным представляется комплексная система посадки с использованием как существующих точных систем посадки (система ILS), так и дифференциальных спутниковых навигационных систем .

Структурная схема предлагаемой системы приведена на рис.1. Система в основном состоит из 2 частей: наземной станции (базовая станция TNL-2800G GPS) и бортовое оборудование.

Расположенный в бортовом оборудовании 6 канальный приемник GPS для полного отражения работы навигационной системы сопряжен с блоками: индикатора дальности, индикатора дифференциального GPS режима, системы речевого оповещения, индикатора с движущейся картой, системы воздушных сигналов СВС, пульта записи навигационных данных и подключен к линиям отклоняющихся пластин CDI (the INDEX of the course DEVIATION – указатель отклонения от курса) и CSI (The indicator of a sublevel of convergence – индикатор уровня конвергенции) пилотажно-навигационного прибора (ПНП), применяемого в системе посадки ILS.

Для комплексирования возможностей вышеуказанных систем и повышения наглядности отображения информации, в соединенный с бортовым приемником DGPS

пилотажно-навигационной прибор (ПНП) дополнительно встроены датчики указателя скорости УС-4 (ASI) (1), определяющий приборную скорость ВС, барометрического электромагнитного высотомера (ВБЭ-2А) (2), радиовысотомера (РВ-5 или ADI), которая определяет более точное значение истинной высоты (особенно в диапазоне 0÷10 м) (3), переключатель двух режимов (ILS и GPS) (4). Кроме того, в системе предусмотрен блок обработки сигнала, поступающего из спутниковой системы и передачи его в ПНП (5).

Следует отметить, что задача обеспечения точных заходов на посадку с использованием подобных спутниковых систем решается локальными контрольно-корректирующими станциями (ККС) (наземная станция).

Однозначно доказано, что обычные GPS – приемники в довольно большой области вокруг базовой станции получают от спутника одни и те же ошибки.

Контрольно-корректирующая станция с помощью соответствующих устройств и алгоритмов вычисляет дифференциальные поправки псевдодальностей к навигационным спутникам и скорости изменения псевдодальностей, оценивает погрешности дифференциальных поправок, определяет состояние навигационных спутников в соответствии с критериями для точного захода на посадку, а также другие данные и формирует соответствующую корректирующую информацию, которая с помощью передатчика корректирующей информации передается на антенну GPS приемника, находящийся на борту воздушного судна. Необходимо отметить, что и в этом случае мы сталкиваемся с наземным оборудованием в лице контрольно корректирующей станции, формирующей корректирующую информацию.

В силу вышеуказанного (потеря надежности работоспособности наземного оборудования), с целью повышения точности системы целесообразным представляется произвести обработку сигналов навигационных спутников и формирование соответствующих корректирующих поправок непосредственно на борту ВС с помощью предусмотренного в составе бортового оборудования специального блока обработки сигнала, поступающего из спутниковой системы и передача его в ПНП. При этом повышение эффективности системы и точности преобразования информации в целом возможно также путем сравнения спутниковых навигационных данных с пилотажными измерениями, для чего необходимо в блоке обработки предусмотреть и обработку сигналов указателя скорости, барометрического электромагнитного высотомера и радиовысотомера, встроенных на ПНП.

Фактически блок обработки данных представляет собой информационно-управляющую систему реального времени, так как вырабатывает корректирующую информацию для бортовых систем посадки (в данном случае для ПНП) на основе обработки информации датчиков GPS и датчиков пилотажных параметров.

В данной системе комплексное использование СНС и бортовых систем обеспечивает безопасную посадку ВС. При этом комплексирование предусматривает следующее:

1.Комплексное использование СНС и барометрического высотомера.

2.Комплексное использование СНС и измерителя высоты.

3.Комплексное использование СНС и радиовысотомера.

В связи с тем, что в системе предусмотрена работа в двух режимах, она обладает следующими преимуществами:

1. При отсутствии на аэродроме посадки DGPS, переход в режим ILS и осуществление безопасной посадки с высокой точностью.

2. При отсутствии на аэродроме посадки оборудования посадки ILS, осуществление безопасной и точной посадки с использованием DGPS.

3. При отсутствии на аэродроме оборудования ILS и DGPS, или в случае их выхода из строя по какой-либо причине, возможность осуществления безопасной посадки с помощью предложенной системы.

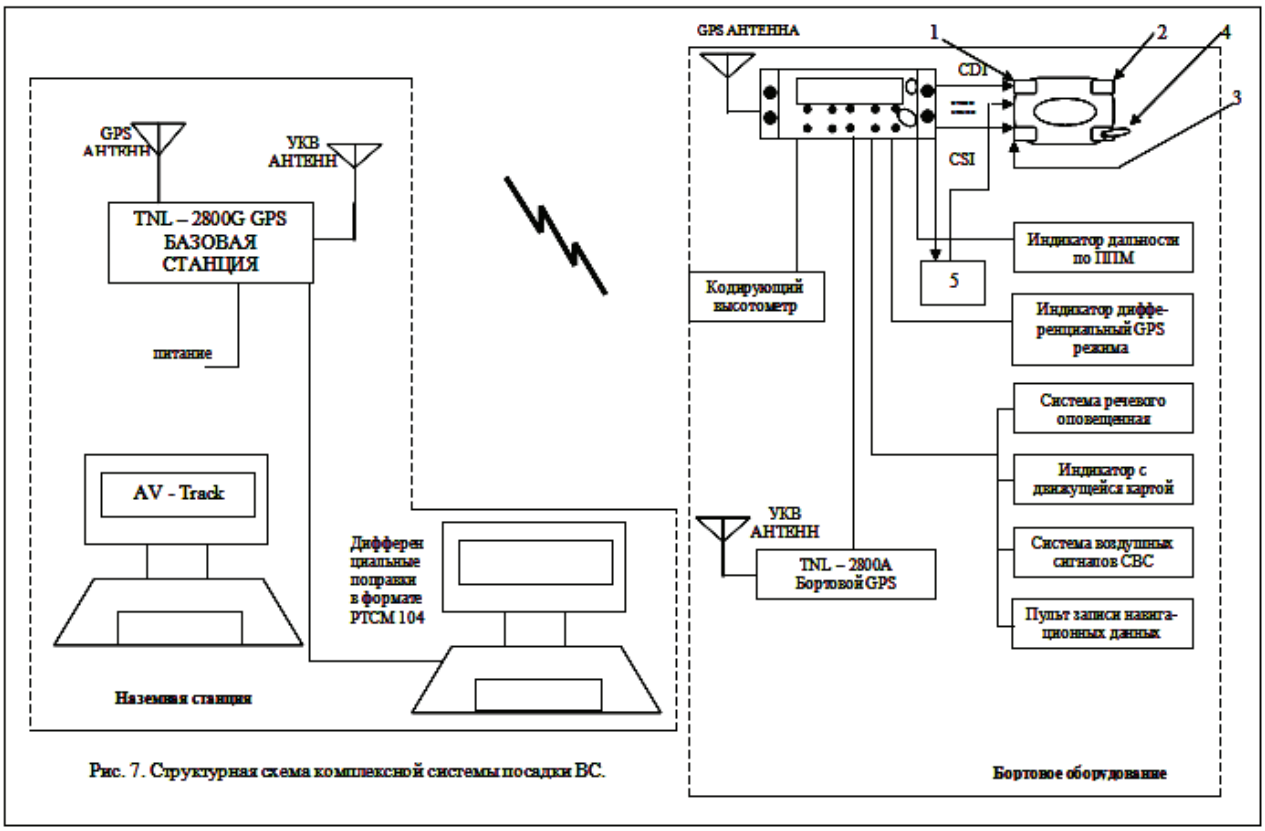


Рис. 7. Структурная схема комплексной системы посадки ВС.

Рис.1. Структурная схема комплексной системы посадки ВС

Список литературы

1. *Вавилова Н.Н., Ратникова Н.А*. Экспертная система информационно-интеллектуальной поддержки экипажа. //Известия РАН. Теория и системы управления,2005,№3 –с.117-125

2. *Павлов А.М.* Связанные технологии передачи данных бортового применения:тенденция развития и ограничения. //Известия РАН. Теория и системы управления,2002,№6 –с.139-148

3. *Исмаилов И.М.* Прогнозируемый контроль динамических систем на базе искусственных нейронных сетей. /Труды международной конференции «Интеллектуальные системы». Россия. Двиноморское. Москва. Физматлит. 2006. стр. 391-396.

4. *Исмаилов И.М.* Эффективность использования полетной информации для контроля и управления движением воздушного судна. //Вопросы специальной радиоэлектроники. Научно-технический сборник. Выпуск 3. Москва – Таганрог. 2006. стр. 201-208.

5. *Исмаилов И.М.* Авиационный измерительно-вычислительный комплекс с поэтапной обработкой информации. /Сборник трудов НАА. Баку. 2006, №1, стр.15-20.

УДК 621.373.12 + 537.632.4

И.В. Линчевский, к.т.н.
(Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина)

ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА АВТОГЕНЕРАТОРЕ С МАГНИТООПТИЧЕСКИМ КРИСТАЛЛОМ

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность создания датчика магнитного поля на основе автогенератора со стабилизацией частоты с помощью магнитооптического кристалла выполняющего магнитомеханические колебания. При этом измеряемое магнитное поле меняет жесткость кристалла и соответственно частоту на выходе датчика.

Известны датчики магнитного поля (МП) в которых чувствительным элементом является магнитооптический кристалл (МОК), с помощью которого за счет эффекта Фарадея (ЭФ) осуществляется преобразование изменений МП в поворот плоскости поляризации оптического излучения. Недостатком датчиков такого типа является низкая стабильность выходного сигнала .

В технике широкое распространение нашли автогенераторы, в которых стабилизация частоты колебаний осуществляется кварцевым резонатором. Изменение частоты колебаний таких генераторов практически невозможно, т.к., последняя определяется резонансной частотой механических колебаний пьезоэлектрика. С другой стороны, феро- и феримагнетики (ФМ) при помещении их в МП изменяют свой модуль Юнга Y. Таким образом, у ФМ (в отличие от пьезоэлектриков) существует возможность управления скоростью распространения ультразвуковых волн путем изменения величины и ориентации МП. Известно, что для ФМ, помещенного в постоянное подмагничивающее и одновременно в переменное МП, за счет магнитострикционных явлений в ФМ возникают дополнительные изменения в величине переменной составляющей намагниченности кристалла. Эти изменения особо сильно проявляются в области частот переменного МП близких к резонансным частотам собственных магнитомеханических колебаний образца ФМ [1]. В роботах [1] и [2] были проведены исследования по резонансным изменениям индуктивности катушки с ФМ сердечником, который может радиально колебаться. Однако, в силу особенностей МП в тороидальном сердечнике, управление его жесткостью внешним МП и, соответственно, частотою автогенератора затруднено.

Целью работы является разработка и исследование датчика МП на основе магнитоуправляемого автогенератора с оптическим каналом в цепи обратной связи. Частотозадающим и одновременно чувствительным к МП элементом датчика является магнитооптический кристалл (МОК), который совершает высокодобротные магнитомеханические колебания, частота которых зависит от внешнего МП.

Выходной сигнал датчика имеет синусоидальную форму, частота котрого пропорциональна величине измеряемого МП.

В состав датчика МП (рис.1) входят: 1-лазер, 2-МОК, 3- анализатор, 4-фотоприемник, 5- усилитель, 6-фазосдвигающая цепь, 7-катушка, 8- источник постоянного тока I_0 (создает МП подмагничивания $\hat{H}_2^0$).

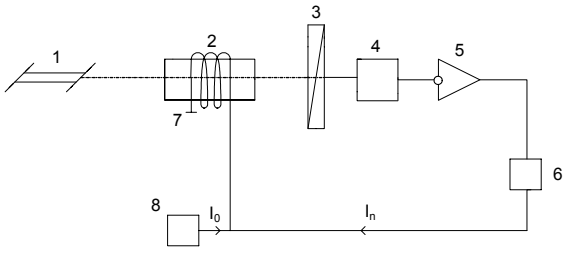


Рис.1 Схема датчика МП на автогенераторе с МОК.

Элементы 2-7 схемы датчика образуют замкнутую цепь положительной обратной связи, в которой выполняются условия баланса амплитуд и фаз, необходимых для возникновения автоколебаний. I_n - переменный ток в цепи обратной связи. Интенсивность оптического излучения на выходе анализатора и ток фотоприемника изменяются в соответствии с законом Малюса. Выход усилителя 5 одновременно служит выходом датчика.

В качестве МОК использован иттриевый феррогранат ($Y_3Fe_5O_{12}$). Стабилизация частоты автогенератора осуществляется с помощью механического резонатора на основе МОК. Частота собственных высокодобротных магнитомеханических колебаний кристалла, определяется его модулем Юнга. Для МОК, за счет внешнего МП, которое является входным сигналом датчика, возможны управляемые изменения модуля Юнга МОК. На частотах в области резонансных частот собственных механических колебаний МОК происходят дополнительные изменения намагниченности, которые фиксируются с помощью ЭФ.

На рис.2 представлена конструкция чувствительного элемента датчика. МОК-1, расположен в катушке 2, выполненной в виде соленоида длиной 2*L*.

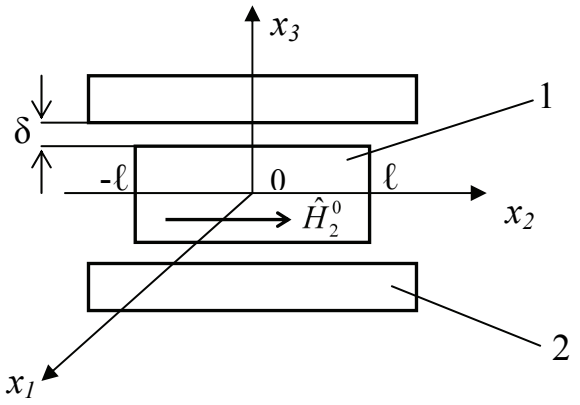


Рис.2 Схема чувствительного элемента датчика.

Конструкция катушки позволяет МОК совершать колебания. МОК имеет форму стержня длиной 2*l* и поперечным сечением в виде квадрата со стороной *b*. При этом $b<<l<L$ и зазор между катушкой и кристаллом минимальный. Направление волнового вектора линейно поляризованного излучения и ось легкого намагничивания МОК совпадают с осью x_2.

Токи I_0 и I_n в катушке создают вспомогательные МП: $\hat{H}_2^0$ та $\tilde{H}_2^*$ соответственно. Постоянное МП $\hat{H}_2^0$ выполняет функцию подмагничивания, а переменное МП $\tilde{H}_2^*$ создает в поляризованном ФМ за счет магнитострикции магнитомеханические колебания соответствующей частоты. На постоянное МП $\hat{H}_2^0$ накладывается внешнее МП H_2^x которое служит входным сигналом датчика и подлежит измерению. Таким образом, совокупное поле подмагничивания H_2^0 является суммой МП $\hat{H}_2^0$ и H_2^x. Поле подмагничивания H_2^0 должно оставаться меньшим МП насыщения МОК.

МП H_2^0 формирует матрицу пьезомагнитных констант m_{kij}, которые определяются в линейном приближении формулой: $m_{kij} = m_{pkij}H_p^0 \equiv m_{2kij}H_2^0$. Если в объеме МОК создать переменное МП $H_2^* e^{i\omega t}$ так, что $\vec{H}_2^* \uparrow\uparrow \vec{H}_2^0$, где H_2^* - амплитуда продольной компоненты переменного МП, тогда физическое состояние МОК определяется системой уравнений

$$\begin{aligned} \sigma_{ij}^* &= c_{ijkl}^H \varepsilon_{kl}^* - m_{kij} H_k^*, \\ B_n^* &= m_{npq}\varepsilon_{pq}^* + \mu_{nm}^{\varepsilon} H_m^*, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $\sigma_{ij}^*, \varepsilon_{kl}^*, H_k^*, B_n^*$ – амплитуды гармонично изменяемых во времени компонент механических напряжений, деформаций, векторов напряженности и индукции МП; c_{ijkl}^H – компонента

тензора модулей упругости размагниченного МОК; μ_{nm}^{ε} – компонента тензора магнитной проницаемости, в предположении постоянства (равности нулю) деформаций. Напряженность переменного МП H_2^* представляет собой суму МП $\tilde{H}_2^*$, заданного внешним источником (током I_n) и внутреннего МП h_2^*, которое возникает в результате обратного магнитострикционного эффекта (эффект Виллари) .

Допустим, что компоненты вектора смещения материальных частиц $\vec{u}(x_k,t)$ изменяются по гармоническому закону, т.е. $u_l(x_k,t)=u_l^*(x_k)e^{i\omega t}$, где $u_l^*(x_k)$ - амплитуда l-ой компоненты вектора смещения. Величины σ_{ij}^* та u_l^* связаны первым уравнением физического состояния (1) и должны удовлетворять второму закону Ньютона. Тогда, уравнение колебаний материальных частиц стержня имеет вид:

$$\frac{\partial^2 u_2^*}{\partial x_2^2}+\gamma^2 u_2^*=0\forall x_2\in[-l,l], \tag{2}$$

где $\gamma^2=\omega^2\rho_0/Y^B$, ρ_0 – плотность, $Y^B=Y^H+\Delta Y$ - модуль Юнга намагниченного стержня, $Y^H=c_{22}-\dfrac{4c_{12}^2}{c_{11}+c_{12}}$ – модуль Юнга размагниченного ФМ,

$$\Delta Y=\tilde{m}_{22}^2/\mu_{22}^{\sigma}, \tag{3}$$

$\mu_{22}^{\sigma}-$ магнитная проницаемость стержня для режима постоянства напряжений в плоскости поперечного сечения, $\tilde{m}_{22}=m_{22}-2m_{21}\dfrac{c_{12}}{c_{11}+c_{12}}$ – пьезомагнитная константа поляризованного ФМ для одноосного напряженно-деформированного состояния, $m_{21}=m_2H_2^0$, $m_{22}=m_1H_2^0$ m_1 и m_2 – константы, которые определяются экспериментально;

Решение уравнения (2) приводит к значению упругих напряжений в МОК в виде:

$$\sigma_{22}^*(x_2)=\tilde{m}_{22}\tilde{H}_2^*\left(\frac{\cos\gamma x_2}{\cos\gamma l}-1\right) \tag{4}$$

Механические напряжения σ_{22}^* в МОК, приводят к дополнительным изменениям его намагниченности J^*, которые будем характеризовать функцией $\Lambda=\dfrac{\partial J^*}{\partial\sigma_{22}^*}$.

Поскольку, при распространении поляризованного излучения вдоль МОК, угол поворота плоскости поляризации накапливается, тогда, на выходе из МОК, амплитуда переменной составляющей угла поворота плоскости поляризации φ^* составит:

$$\varphi^*=\varphi_0+\frac{2\alpha_f\Lambda\tilde{m}_{22}\tilde{H}_2^*}{\gamma}\left(tg\gamma l-\gamma l\right), \tag{5}$$

где $\varphi_0=2J^*\alpha_f l$, J^*- намагниченность за счет компоненты МП H_2^* вне области частот механического резонанса, α_f- коэффициент пропорциональности между углом поворота плоскости поляризации нормированной на единицу длины МОК и его намагниченностью. Из выражения (5) следует, что на частотах f_p, которым соответствует безразмерное число $\gamma l=\pi/2+n\pi$, возникает резонансное изменение угла поворота плоскости поляризации. При этом, сами частоты резонансов имеют значения

$$f_p=1/2l\sqrt{\frac{Y^B}{\rho_0}}(1/2+n), \tag{6}$$

Ток фотоприемника определяется в соответствии с законом Малюса и с учетом выражения (5) для угла поворота плоскости поляризации. Частота колебаний автогенератора

определяется выражением (6). В силу соотношения (3) модуль Юнга намагниченного стержня зависит от магнитного поля H_2^0, поэтому и частота колебаний на выходе автогенератора зависит от напряженности измеряемого МП H_2^x. За счет режима вынужденных колебаний МОК наряду с амплитудночастотной зависимостью тока на выходе фотоприемника одновременно присутствует сдвиг по фазе между переменной составляющей тока I_n и током на выходе фотоприемника. Роль оптического канала сводится к процессу преобразования механических напряжений в МОК в соответствующие значения тока на выходе фотоприемника.

Для экспериментальных исследований был использован МОК с размерами: *2l*=15мм, *b*=4мм. Катушка в виде соленоида содержала один слой из 80 витков провода ПЕВ-0.2. намотанных на тонкостенный каркас с внутренним квадратным сечением 4.1x4.1 мм^2. Элементы электронной части схемы выполнены на стандартной элементной базе. На Рис.3 показана экспериментальная амплитудночастотная зависимость относительного угла поворота $\tilde{\varphi} = \varphi^* / \varphi_0$ плоскости поляризации излучения на выходе из МОК при разомкнутой петле обратной связи и при H_2^0=0,6 кА/м.

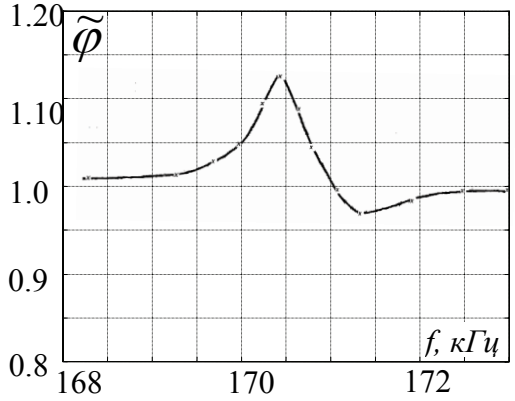


Рис.3 Экспериментальная зависимость относительного угла поворота плоскости поляризации $\tilde{\varphi}$ от частоты магнитного поля $\tilde{H}_2^*$.

При исследованиях датчика измерения производились при МП в диапазоне H_2^0 (0.53-0.65) кА/м. При этом частота на выходе датчика изменялась линейно в диапазоне частот f (169,8;173,2) кГц. При этом, коэффициент чувствительности датчика по напряженности МП составил 28,3 $\frac{Гц \cdot м}{А}$.

Выводы

Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретическую модель работы датчика МП на основе автогенератора с МОК в качестве частотоопределяющего элемента.

Преимуществом датчика является получение его выходного сигнала не в аналоговом, а в частотном виде, что значительно упрощает его дальнейшее преобразование и обработку. С помощью датчика можно измерять не только абсолютное значение МП, но также и его отдельные компоненты. В дальнейшем эта особенность датчика может быть использована для создания датчиков угла поворота объекта.

Список литературы

1. Лінчевський І.В., Петрищев О.М., Трохимець В.О., Визначення магнітострикційних констант поликристалічного ферромагнетика за резонансними частотами радіальних коливань кільця// УФЖ. —2010.— 55, № 7. — С.947-952.

2. Лінчевський І.В., Петріщєв О.М., Трохимець О.П. Магнітомеханічні резонанси в поляризованому феромагнітному кільці // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. — 2010. — № 4. — С. 139—144.

УДК 620.179.147

О.Ф. Закревський (НТУУ «КПІ», Україна)

ВПЛИВ СКІНЧЕННОСТІ ГАБАРИТІВ НА ЯКІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ ВИХРОСТРУМОВИМ МЕТОДОМ (ЕКСПЕРИМЕНТ)

В даній роботі представлено результати експериментальної перевірки адекватності математичної моделі вихрострумового перетворювача (ВСП), що враховує скінченність габаритів дослідного зразка з урахуванням його об'ємності та відсутності кривизни торця. Експериментально проведено дослідження характеру поведінки залежності відносної індуктивності від відстані ВСП до об'єкту.

У зв'язку із все зростаючими вимогами до якості контролю ультразвукових процесів виникає потреба в підвищені якості вимірювання параметрів ультразвукових випромінювачів (УЗВ), основним з яких є амплітуда механічних коливань. Якість первинних перетворювачів пристроїв вимірювання амплітуди механічних коливань УЗВ визначає якість вимірювання амплітуди механічних коливань, яка, у випадку ВСП, визначається не тільки параметрами матеріалу та швидкістю коливання торця наконечника УЗВ, але і його габаритами. Загально відомо, що точність та чутливість первинних перетворювачів визначають якість контролю, що спонукає до пошуку нових способів, які дозволять підвищити точність вимірювань.

В даній роботі представлено експериментальні дані, які якісно підтверджують достовірність математичної моделі [1], що враховує вплив крайових ефектів на точність та чутливість вихрострумових перетворювачів, що використовуються для вимірювання амплітуди механічних коливань УЗВ.

З метою перевірки достовірності математичної моделі ВСП було розроблено макет вимірювального пристрою (ВП) (рис. 1), блок-схему якого представлено на рис. 2, та виготовлено ВСП, що представляє собою прямокутну спіраль виготовлену на друкованій платі (рис. 3). ВП побудовано на основі мікросхеми (МС) 74HC4046, що представляє собою генератор прямокутних імпульсів типу «меандр», частота яких керується зовнішньою напругою, з вбудованими детекторами трьох типів. Основна частина ВП представляє собою базовий амплітудний модулятор на генераторі в ключовому режимі [2], роль якого і виконує МС 74HC4046. Керує процесом мікроконтролер ф. Atmel Mega8535, який керує частотою прямокутних імпульсів МС 74HC4046, яка в даному випадку складає 1 МГц, вимірює значення вихідного сигналу та виводить результат на 3-х розрядний 7-сегментний індикатор.

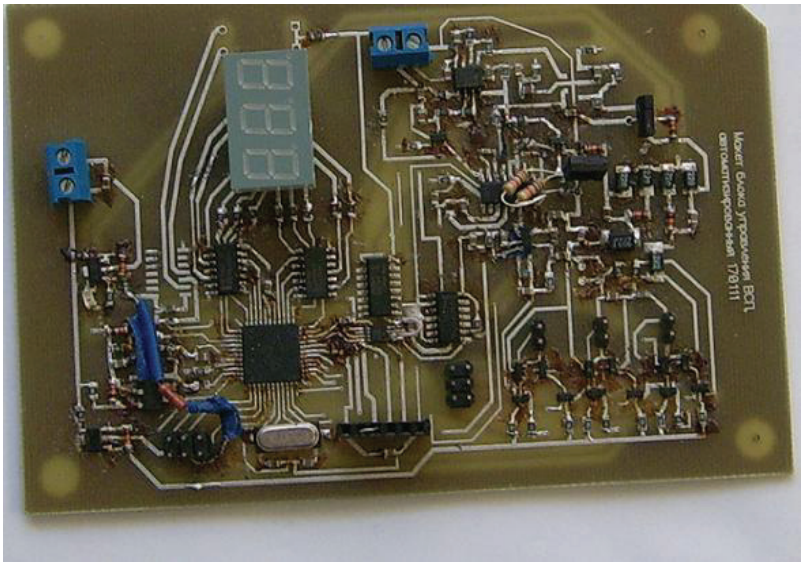


Рис 1 Макет вимірювального пристрою

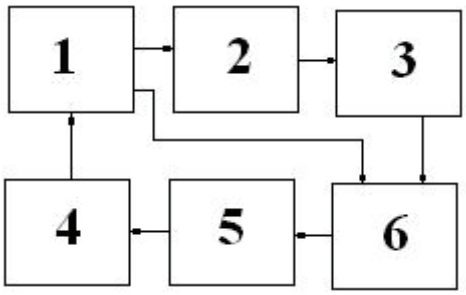


Рис 2 Блок-схема вимірювального пристрою
(1-ГУН, 2-СПФ, 3-паралельний коливальний контур з ВСП, 4-мікроконтролер, 5-ФНЧ, 6-XOR)

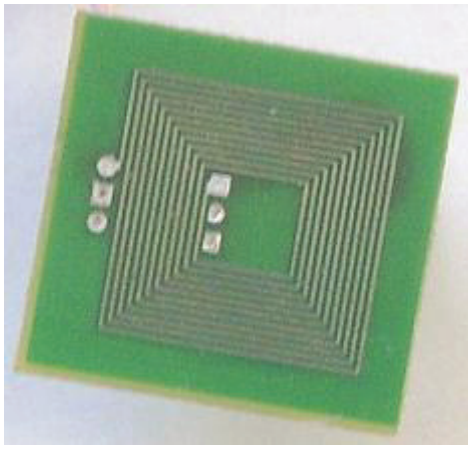


Рис 3 Вихрострумовий перетворювач

Експериментальний стенд (рис. 4) представляє собою дослідний зразок, закріплений непорушно тисками та рухомий ВСП, що прикріплений до стрижня, який рухається за допомогою мікрометра 5451 – 0.01. В якості дослідних зразків було взято стальні свердла діаметром 7, 8 та 9 мм (рис. 5).

Рис 4 Експериментальний стенд

Оскільки метою розробленої математичної моделі [1] було виявити вплив крайових ефектів на залежність індуктивності ВСП від відстані, було проведено 20, 16 та 9 дослідів з кожним із дослідних зразків, відповідно діаметром 9, 8 та 7 мм, за результатами яких, після статистичної обробки даних, побудовано експериментальні залежності приведеної до індуктивності ВСП над дослідним зразком, що знаходиться на відстані 1 мм від дослідного зразка, індуктивності ВСП від відстані ВСП до дослідного зразка. На рис. 6 представлено залежність приведеної індуктивності від відстані в діапазоні 0,75…1,25 мм, з якого видно,

що зі зменшенням діаметру дослідного зразка зменшується крутизна кривої залежності. На рис. 7 пред-

Рис 5 Дослідні зразки

ставлено залежність непевності результату вимірювань [3] приведеної індуктивності від відстані для діапазону 0…2,85 мм, з якого видно, що зі збільшенням відстані непевність результату вимірювання знижується, що можна пояснити більшою чутливістю ВСП до непаралель-

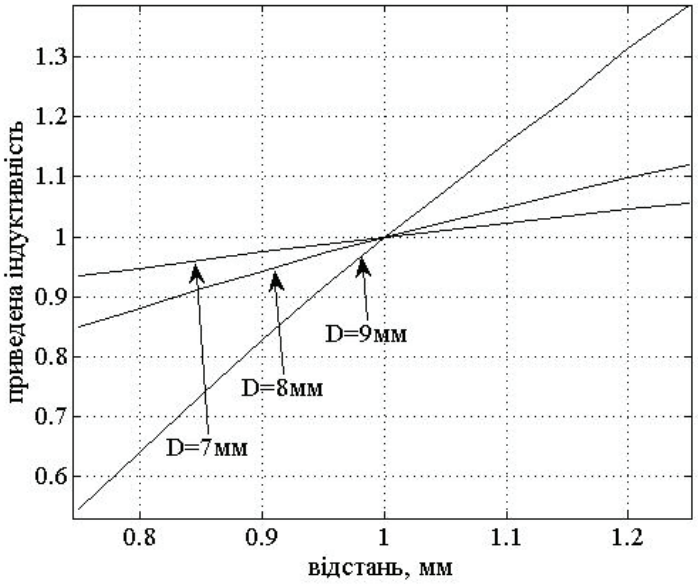


Рис 6 Залежність приведеної індуктивності від відстані
(D – діаметр дослідного зразка)

ності та не співвісності дослідного зразка та ВСП при малих відстанях.

Вплив діаметру дослідного зразка на нелінійність кривої залежності приведеної індуктивності від відстані (рис. 6) визначено лінійною апроксимацією експериментальних даних та визначення похибки лінійної апроксимації вираженої у відсотках за наступною формулою:

$$\varepsilon = \frac{(L_e - L_a)}{L_e} \cdot 100\%$$

де L_e, L_a – експериментальні та лінійно апроксимовані значення індуктивності.

Результат розрахунку залежності похибки лінійної апроксимації від відстані в діапазоні 0,75…1,25 мм приведено на рис. 8, з якого видно, що зменшення діаметру дослідного зразка призводить до зменшення нелінійності кривої залежності приведеної індуктивності від відстані.

З метою перевірки адекватності моделі [1], а саме, залежності індуктивності ВСП від діаметру дослідного зразка при постійній відстані від ВСП до дослідного зразка та від частоти струму живлення ВСП проводиться підготовка дослідних зразків, які повинні характеризуватись ідентичними параметрами матеріалу (магнітна проникність та електропровідність).

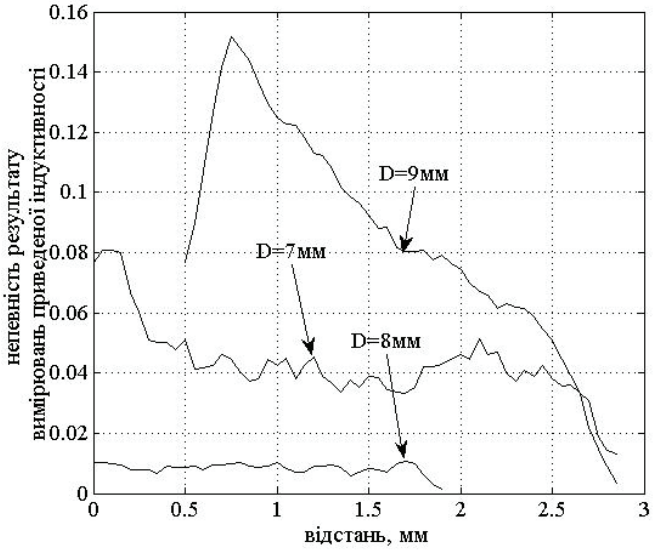


Рис 7 Залежність непевності результату вимірювань приведеної індуктивності від відстані (D – діаметр дослідного зразка)

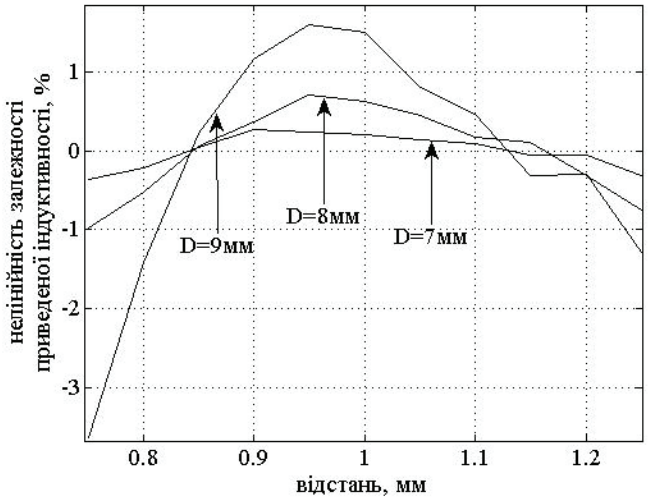


Рис 8 Нелінійність приведеної індуктивності (D – діаметр дослідного зразка)

Висновки

Як видно з наведених вище результатів експериментальних досліджень, дійсно, поведі-ка залежності приведеної індуктивності від відстані в залежності від діаметру електропровідного зразка, яка отримана за допомогою математичної моделі ВСП, яка представлена в [1], підтверджена, тобто зі зменшенням діаметру дослідного зразка крутизна залежності приведеної індуктивності від відстані та її нелінійність зменшуються.

Список літератури

1. *Закревський О.Ф.* Вплив конечності габаритів об’єкту на вносимий імпеданс вихрострумового сенсора. Материалы 16 международной научно-технической конференции «Электромагнитные и акустические методы неразрушающего контроля материалов и изделий Леотест-2011» Львів – 2011, стр. 105-108.

2. *Артым А.Д., Садыков Э.А., Бахмутский А.Е., Козин Е.В.* Базовая амплитудная модуляция генераторов в ключевом режиме. Изд-во «Илим» Фрунзе, 1983 г. 200 с.

3. *Захаров И.П., Кукуш В.Д.* Теория неопределенности в измерениях. Учеб. пособие: – Харьков, Консум, 2002 – 206 с.

УДК 621.34.06

А.Р. Корсунов, кандидат технических наук
(Украинская инженерно-педагогическая академия, Украина)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ЛЕТНОГО СОСТАВА

В статье решается проблема формирования современными средствами с возможностями интеллектуализации диагностической базы данных для летного состава. При этом разработка подобных баз данных обеспечена необходимыми алгоритмами и методами моделирования. Предложено формирование массива физиологических данных в цифровом формате с реализацией автоматического контроля. Выработаны практические рекомендации использования разработанного метода.

В качестве моделей данных в теории баз данных (БД) используются различные алгебраические структуры, обобщающие классические модели данных: реляционную, иерархическую и сетевую. Подобные структуры имеют сложную, иерархическую организацию как, например, файлы порядка более чем первого в «башне» файлов. «Башня» файлов определяет модель сложно структурированных данных, которая представляет по существу иерархические и реляционные подходы. Преимущество реляционной модели – в её выразительности, а иерархической – в эффективности. «Башня» файлов, однако, более выразительная, чем реляционная модель. При этом она содержит все достоинства реляционного подхода, так как обладает ясной теоретико-множественной семантикой. Операции подобной модели являются расширениями, обобщениями и уточнениями операторов реляционной алгебры.

Этапы разработки.

1.Методологические основы технологии клиент-сервер идейно продолжают идеологии мэйнфреймов многотерминальных систем больших машин. Для работы с базой данных в режиме клиент-сервер используем язык структурированных запросов SQL .

Архитектура приложений клиент-сервер включает в себя три компонента:

1. Структура базы данных (сервер)
2. Ввод-вывод информации (клиент)
3. Правила бизнеса, определяющие операции над базой данных.

При организации любой базы данных требуется соблюдение следующих требований:

1.Связность базы, т.е. реализация и контроль отношений в базе (один к одному, один ко многим, многие ко многим) проходят на уровне структуры базы.

2.Минимизация хранимых данных: хранится только то, что может вычисляться.

Указанным требованиям соответствуют программы-сервера MS SQL Server.

2. При проектировании системы полезна типизация объектов задач базы данных с использованием методов объектно-ориентированного анализа и объектного проектирования. Разделение объектов на ряд уровней по сложности, с предварительным определением правил идентификации и связей между ними, а также механизма поддержки операций над объектами входят в общие правила проектирования БД как единого целого.

Под объектом подразумевается совокупность таблиц, описывающих некоторую часть предметной области, и хранимые процедуры, обеспечивающие связность этих таблиц, а также основные операции доступа к данным и изменения этого объекта. Одна из таблиц базы данных – основная. Её главный ключ идентифицирует объект. Отдельным вопросом является проблема определения структуры данных архива и правила переноса оперативных, данных в архив. При этом архив составляется из двух частей:

1. Реляционная база;
2. Данные для анализа.

Первая – содержит те данные, которые считаются неизменными, а также объекты,

которые ещё существуют в оперативной базе, но необходимы для обеспечения связности данных; вторая – данные, подготовленные в форме гиперкуба (OLAP - базы).

3. Встроенная модель биообъекта в БД используется в режимах формирования параметров диагностических наборов и представляется в следующем виде:

$$\forall_z \in [1 \ldots n]: S^z \subset S, \quad (1)$$

где $\forall_z$ – набор диагностики,

S – множество параметров, состоящее из отдельных разделов S^z,

z – общее число разделов (показатели температуры, показатели кровеносной системы и т.д.).

Раздел представляет совокупность подразделов (систолическое давление, диастолическое давление и.т.п.), для каждого из которых задаётся мера значимости:

$$S^z = [S_1^z]^{C_1^z}, [S_1^z]^{C_2^z}, \ldots, [S_1^z]^{C_\nu^z}\}; C_\nu^z \in [0,1], \nu \in [1 \ldots n],$$

где ν - число подразделов в разделе S^z;

C_ν^z - величина, характеризующая степень важности при диагностике специалистом по исследованию из подраздела S_ν^z.

Если $S_1^z, S_2^z, \ldots S_\nu^z$ подмножества (не обязательно не пересекающиеся) диагностических задач одного раздела, то запишем:

$$\forall_\nu \in [1 \ldots n]: S_\nu^z \subset S^z; S_\nu^z = [S_{\nu 1}^z, S_{\nu 2}^z, \ldots, S_{\nu m}^z], \quad (2)$$

где $S_{\nu 1}^z, S_{\nu 2}^z, \ldots, S_{\nu m_\nu}^z$ - диагностические задания в подразделе S_ν^z;

m – число диагностических заданий в подразделе S_ν^z.

Учитывая выражения (1) и (2) записываем полный набор параметров необходимых при диагностике по заданному разделу:

$$S^z = \left\{ \left[S_{11}^z, S_{12}^z, \ldots, S_{1m_1}^z \right]^{C_1^z}, \left[S_{21}^z, S_{22}^z, \ldots, S_{2m_2}^z \right]^{C_2^z}, \ldots, \left[S_{\nu 1}^z, S_{\nu 2}^z, \ldots, S_{\nu m_m}^z \right]^{C_\nu^z} \right\}$$

Полные наборы диагностических заданий для каждого из разделов формируются группой экспертов и заносятся в базу данных.

4.Для обеспечения эффективности процесса систематического наблюдения состояния летного состава и получения адекватной оценки диагностики в систему вводится модель пользователя, формально представляемая в виде объекта:

$$MS = \{ID, (a_1, <p.a_1>), (a_2, <p.a_2>), \ldots, (S_{\nu 1}^z, S_{\nu 2}^z, \ldots, S_{\nu m_\nu}^z]^{C_\nu^z}\},$$

где ID – идентификатор,

a_1, a_2, a_i – имена полей,

$p.a_1$, $p.a_2$, $p.a_i$ – значения полей.

В качестве имен полей выступают статические характеристики пользователя, а значения полей – шкалированные оценки этих характеристик. В БД системы содержится набор функций преобразования, обеспечивающий формирование множества требований предъявляемых при диагностике:

$$S \xrightarrow{f_z(\{p_a_i\})} S^z =$$

$$= \left\{ \left[S_{11}^z, S_{12}^z, \ldots, S_{1m_1}^z \right]^{C_1^z}, \left[S_{21}^z, S_{22}^z, \ldots, S_{2m_2}^z \right]^{C_2^z}, \ldots, \left[S_{\nu 1}^z, S_{\nu 2}^z, \ldots, S_{\nu m_\nu}^z \right]^{C_\nu^z} \right\}$$

Оценка уровня изменения параметров каждого из членов летного состава в пределах одного раздела выполняется в соответствии с критерием:

$$\theta^z = \frac{1}{V} \sum_{\nu=1}^{v} \frac{C_\nu}{m_\nu} \sum_{m=1}^{m_\nu} T_{m\nu} * S_{m\nu},$$

где V – число подразделов;

C_ν - показатель значимости для подраздела;

m_ν - число заданий в подразделе;

$T_{m\nu}$- мера трудности задания;

$S_{m\nu}$ - булева переменная, равная 1 в случае достижения положительного эффекта при электромагнитном взаимодействии и 0 – в противном случае.

Условием допустимого изменения физиологического состояния указанного состава сотрудников является выполнение следующего неравенства:

$$\theta^z_{\min} \le \theta^z ,$$

где $\theta^z_{\min}$ - заданное в режиме формирования требований минимально допустимое значение критерия оценки физиологических параметров для данного раздела.

5.Данные, используемые системой, делятся на статические и динамические. Статистические данные хранятся в базе данных и не зависят от интерактивного режима. Они включают в себя правила сравнения, вывода и сведения об иерархии объектов. Динамические знания включают в себя дерево целей, активные факты и правила, используемые в интерактивном режиме. В системе хранится фиксированная иерархия объектов:

1. Биоструктура;
2. Пациент;
3. Выполняемые обязанности;
4. Физические факторы воздействия.

Интерактивный режим ведётся в соответствии с указанной иерархией и динамически строит дерево объектов (дерево контекстов). Разработанная встроенная модель пользователя может использоваться в качестве экспертной системы или инструментальной системы биомедицинского назначения. Такой способ построения выгодно отличается от существующих экспертных систем. В них для решения сложных задач требуется значительное количество правил и большая база знаний. В табл.1 приведен список некоторых инструментальных систем, иллюстрирующий насколько сложнее подобные системы по сравнению с разработанной системой.

Таблица 1

Перечень инструментальных систем

Наименование системы	Назначение системы	Стадия системы	Количество правил
MYCIN	Лечение инфекционных заболеваний крови	Коммерческая	1200
PUFF	Анализ нарушения дыхания	Действующий прототип	100
CADUCEUS	Лечение внутренних болезней человека	Действующий прототип	(База знаний о 50 болезнях)

Успешное функционирование интеллектуальной сети в режиме принятия решений будет обеспечено разработкой табличного метода динамического мониторинга физических параметров, при котором многомерное признаковое пространство преобразуется в наглядное двумерное (табл.2).

Таблица 2

Мониторинг физиологических параметров

Параметры	3-	2-	1-	Норма	1+	2+	3+
Температура, ºС	35	35,5	36	36,6	37	38	39
Давление, мм/рт.ст.	90/50	100/60	110/60	120/70	140/90	150/100	170/ 110
ЧСС	45	55	60	70	80	100	120
Дыхание, взд/с	6	8	10	12	15	17	19

Гемоглобин	90	100	110	130	135	140	145
Лимфоциты	5,5	6	6,5	7,8	9	10	11

Значения физиологических параметров распределяются по семи категориям: норма, три категории выше нормы (+) и три категории ниже нормы (-). В ячейках полученного матричного изображения перечисляются номера сеансов, в которые были произведены обследования. Табличный метод динамического мониторинга позволяет минимизировать признаковое пространство и даёт динамику состояния пациента от сеанса к сеансу сочетанного электромагнитного воздействия. Для построения модели классификации показателей при монофункционале (объект) или полифункционале (объекты) была разработана графическая модель полифункционала в виде графа, где вершины графа: $\{a_j\}$ - множество органов; $\{c_n\}$ - множество характеризующее поражение органов; c_n - характер поражения органа; $\{p_i\}$ - множество физиологических показателей (3-, 2-, 1-, N. 1+, 2+, 3+ - степень отклонения показателей от нормы N), а дуги - весовые коэффициенты

Данный граф ориентированный, поскольку содержит вершины и дуги, соответствующие направленным связям между парами вершин, инцидентных одной и той же дуге. Вершина и дуга инцидентна, если последняя входит в вершину или выходит из неё. На основании теории графов можно математически описать модель функционала при поражении одного органа выражением (3), а при поражении нескольких органов выражением (4):

$$y(a_j) = f\left(c_n \sum_{i=1}^{N} \omega_{ni} p_i \right), \quad (3)$$

$$y(\{a_j\}) = f\left(\sum_{j=1}^{M} c_n \left(\sum_{i=1}^{N} \omega_{ni} p_i \right) \right), \quad (4)$$

где $y(a_j)$ - функционал воздействия на один орган; $y(\{a_j\})$ - функционал воздействия на несколько органов; ω_{ni} - весовые коэффициенты (дуги графа); $\{p_i\}$ - множество параметров;N - количество параметров;M - количество повреждённых органов.

Можно сделать вывод, что множество значений физиологических показателей, которые зависят от аномального состояния органов и состояния функциональных систем организма определяют функционал общего воздействия физических факторов, образованный в биоструктуре. Подобный функционал определяет локальное образование (объект), сформированный среди множества физиологических показателей. Подобный объект или группа объектов может рассматриваться как самостоятельный классификатор, обладающий определёнными свойствами для решения дальнейших диагностических задач в процессе систематической диагностики физиологического состояния летного состава.

Список литературы

1. *Корсунов А.Р.* Оценка эффективности воздействия при электрической стимуляции тканевых биоструктур / Materiály VI mezinárodni vědecko-praktická konference «Nastolení moderní vědy – 2007». – Praha: Publishing House “Education and Science”. – Dil 5. – S. 40-42.

2. *Корсунов А.Р.* Разработка методов электромагнитного программируемого воздействия на биообъекты с одновременным контролем состояния их тканей / Materialy czwartej miedzynaradowej naukowi-praktycznej konferencji „Nauka: teoria i praktyka - 2007”. – Przemysl: Nauka i studia. – Tym 10. – S. 57-59.

УДК 534.647

В.С. Єременко, к.т.н., проф., Є.Ф. Суслов, асп., П.А. Шегедін
(Національний авіаційний університет, Україна)

СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ NI COMPACTRIO

В статі розглянуто автономну систему реєстрації прискорень та механічних деформацій елементів конструкції транспортних засобів реалізовану на базі платформи NI CompactRIO. Розглянуто особливості розробки програмного забезпечення та наведено особливості реалізації взаємодії із сумісними GPS приймачем.

У зв'язку з необхідністю проведення контролю фізичного стану елементів конструкції транспортних засобів як в процесі випробувань так і при їх експлуатації актуальною є задача реалізації ІВС на базі автономних апаратно програмних комплексів збору та обробки інформації, що можуть бути запрограмовані на виконання широкого спектру задач обробки вимірювальних даних. Використання подібних платформ інтегрованих з середовищами графічними програмування дозволяє значно спростити процес розробки програмного забезпечення ІВС.

Прикладом такої ІВС є система вимірювання та оцінки показників фізичного стану елементів конструкції транспортних засобів на базі платформи National Instruments CompactRIO, що дозволяє вирішувати широкий спектр задач пов'язаних з контролем стану транспортних засобів як в умовах випробувань так і штатному режимі експлуатації. Система виконує збір, збереження і візуалізацію зміни інформаційних сигналів датчиків віброприскорень та механічних деформацій. Крім того для аналізу впливу швидкості на зміну контрольованих параметрів, отримання сигналів точного часу та визначення поточних координат використовується дані отримані за допомогою модуля GPS-приймача. Загальна структура системи представлена на рис. 1.

Система складається з:

- контролера CompactRIO-9104;
- шасі на 8 модулів із вбудованою програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС);
- 2 універсальних модуля АЦП NI 9205 із максимальною частотою дискретизації 250кГц;
- 5 модулів тензометрії NI 9237 із максимальною частотою 50 кГц на канал;
- Модуль-приймач SEA cRIO Gxxx Mobile.

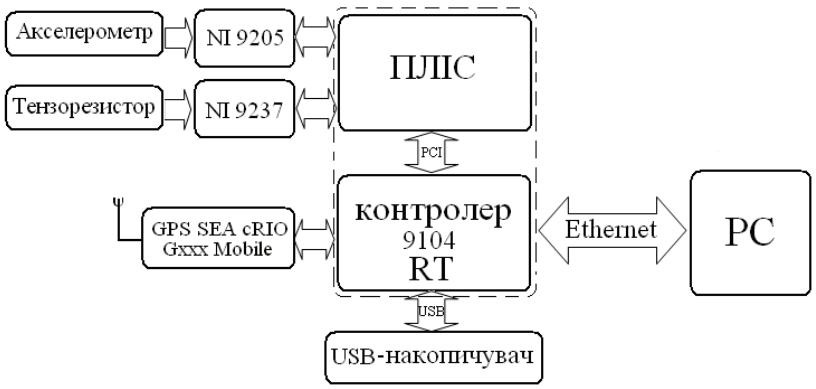


Рис 1. Структурна схема ІВС

Завдяки вбудованій ПЛІС CompactRIO має можливість реалізовувати алгоритми обробки вимірювальних даних на апаратному рівні із детермінованим періодом виконання 25 нс без перенесення завантаження на центральний процесор контролера.

Типовий пристрій CompactRIO включає в себе контролер з встановленою операційною системою реального часу PharLab або VxWorks, шасі і модулі введення-виведення. Шасі несе на собі ядро ПЛІС, яке безпосередньо з'єднується з універсальними або спеціалізованими модулями введення-виведення, що мають вбудовані засоби погодження і обробки інформаційних сигналів. Існують різноманітні моделі шасі, що мають різну кількість слотів для модулів, та відрізняються за характеристиками мікросхем ПЛІС. Завдяки автономності, апаратним характеристикам, незначним розмірам, вазі, а також можливості роботи в несприятливих умовах CompactRIO може бути використане для вирішення широкого спектру задач збору вимірювальної інформації та керування технічними процесами.

Програмне забезпечення для CompactRIO розроблюється за схемою яка передбачає його умовне розподілення на три рівні (рис. 2): віртуальний прилад HOST VI на керуючому ПК із ОС Windows, RT VI на контролері з ОС реального часу та FPGA VI на ПЛІС, що не має власної ОС так як логіка роботи програми реалізується безпосередньо на апаратному рівні. Кожен із представлених рівнів має власний специфічний функціонал та реалізує окремі функції системи в цілому як вказано нижче.

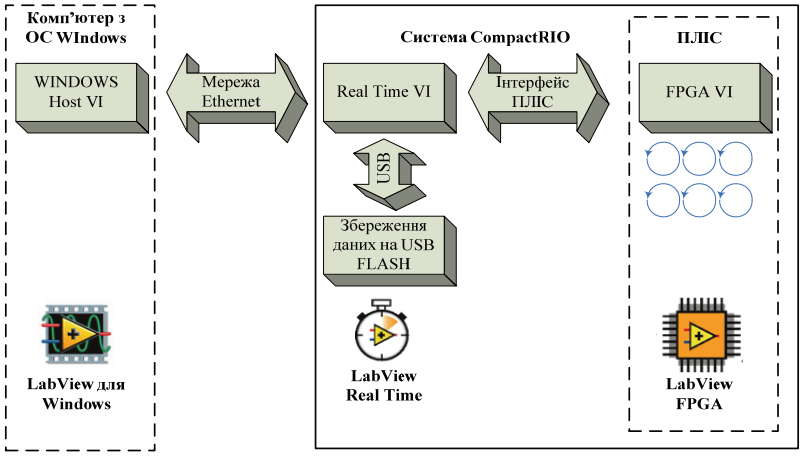


Рис. 2 Структура програмного забезпечення

Типові задачі, що виконуються за допомогою HOST VI на комп'ютері з ОС Windows:

- збереження даних на комп'ютері та доступ до баз даних;
- інтеграція з зовнішнім інформаційними системами;
- організація інтерфейсу.

Типові задачі, що виконуються в RT VI на контролері реального часу:

- обробка даних;
- управління;
- збереження даних у вбудованій пам'яті контролера та на зовнішніх носіях.

Типові задачі, що виконуються в FPGA VI на ПЛИС:

- введення-виведення;
- апаратне тактування і керування процесом взаємодії з обладнанням;
- низькорівнева обробка сигналів.

ПЛІС є мікросхемою, функціональність якої визначається при програмуванні, або «конфігурації», що є більш розповсюдженим терміном при роботі з даним класом інтегральних схем. Пакет LabView FPGA Module є доповненням до програмного середовища LabView, що дозволяє задавати логіку роботи ПЛІС у вигляді звичайного віртуального пристрою замість її програмування із використанням спеціалізованої мови VHDL. Даний пакет дає можливість створювати програми з синхронними і асинхронними паралельними циклами, що виконуються на апаратному рівні та забезпечують детермінований за часом збір і аналіз даних.

Програмний пакет LabVIEW FPGA Module повністю бере на себе багатоступінчастий процес перетворення віртуального приладу в бінарний код ПЛІС. На першому етапі віртуальний прилад конвертується в текстовий код на мові VHDL який після цього компілюється стандартним промисловим компілятором Xilinx ISE в бінарний вигляд. В процесі компіляції відбувається оптимізація коду за швидкістю виконання та кількості задіяних логічних вентилів.

Результатом компіляції є бінарний файл (bitstream file), що повністю визначає конфігурацію ПЛІС. При запуску програми бінарний файл завантажується на шасі, тобто відбувається процес конфігурації ПЛІС. Бінарний файл може бути записаний у вбудовану флеш-памя'ть і автоматично завантажуватися при включенні системи. При відключенні живлення конфігурація не зберігається, тому після повторного включення бінарний файл має бути завантажений знову. При відповідному налаштуванні конфігурація може завантажуватися автоматично з флеш-памяти пристрою ПЛІС або програмно, за допомогою контролера.

Віртуальні прилади FPGA VI можуть виконуватися повністю незалежно від інших компонентів системи і зберігати працездатність навіть при збої контролера, більш того, на ПЛІС може бути організований буфер, який запобігає втраті даних в подібній ситуації.

ПЛІС призначена насамперед для тактування, синхронізації, керування, збору даних і попередньої цифрової обробки інформаційних сигналів. Для управління кожним модулем введення-виведення, підтримки функціоналу шини PCI генерується спеціальний код, що використовує ресурси ПЛІС. Все, що залишиться після цього призначене для реалізації логіки визначуваної користувачем. Таким чином, кількість ресурсів ПЛИС, необхідних для конкретного застосування, залежить від складності алгоритмів і задіяних засобів введення-виведення.

Операції, що недоцільно або неможливо проводити на ПЛІС як, наприклад, обчислення з плаваючою точкою, реалізація інтерфейсу користувача, запис даних на зовнішні носії слід виконувати на рівні контролеру реального часу. Віртуальний пристрій для контролера CompactRIO зазвичай включає два або більше циклів: цикл з критичним пріоритетом, в якому реалізуються алгоритми управління і обробки даних, і цикл з нормальним пріоритетом, який відповідає за збереження даних, віддалений web-інтерфейс і зв'язок по мережі Ethernet або шині RS-232. Цикл з нормальним пріоритетом виконується тільки при просте циклу з критичним пріоритетом.

Для підняття на рівень контролера реального часу даних отриманих від модулів, платформа CompactRIO передбачає три шляхи: через елементи передньої панелі, за допомогою змінної та через DMA FIFO буфер. Перші два підходи є порівняно простим з точки зору реалізації однак не оптимальними з точки зору ефективності, натомість метод DMA FIFO дозволяє без затримок приймати дані отримані на високих частотах дискретизації з великої кількості модулів.

Буфер DMA FIFO складається з двох відділів: одна частина знаходиться в пам'яті ПЛІС, інша — в пам'яті контролера. На ПЛІС може здійснюватися поелементний запис або читання з буфера за допомогою вузлів методів FIFO Read і FIFO Write, а на контролері може проводитися запис або читання вибірок елементів. Зв'язок двох частин буфера здійснюється за допомогою програмно-апаратного контролера DMA таким чином з точки зору програмного забезпечення вони виглядають як єдиний буфер FIFO.

Віртуальних пристрій FPGA VI розміщений на ПЛІС реалізує функціонал ініціалізації, тактування, опитування модулів збору даних та подальшого завантаження отриманих відліків до буфера DMA FIFO. Для забезпечення детермінованої послідовності виконання команд використовується структура «Flat Sequence Structure» у якій розміщено елементи опитування модулів та запису до буферу.

DMA FIFO буфер циклічно опитується через інтервал часу, що задається таймером на рівні контролера реального часу після чого відліки, що були отримані у вигляді цілих чисел відповідно до динамічного діапазону та розрядності модуля збору нормуються до значень

прискорення та деформацій. Отримані дані подаються на віртуальний пристрій, що забезпечує їх обробку та збереження на зовнішньому накопичувачі підключеного за допомогою шини USB.

Контролери CompactRIO мають вбудований USB 2.0 контролер, однак не всі накопичувачі підтримують цей стандарт, що може призвести до значних затримок запису які в свою чергу призводять до переповнення DMA FIFO буферу та некоректної роботи системи в цілому.

В представлениій системі відсутній віртуальний прилад керування, що розміщується на персональному комп'ютері, а замість нього використано механізм, що має назву LabView Remote Panel. Дана функція реалізує так звану модель Клієнт-Сервер, де сервером є контролер, а клієнтом будь який комп'ютер із встановленим LabView. По замовчуванню CompactRIO має ліцензію на одне зовнішнє підключення, однак їх кількість може бути розширена. Для активації Remote Panel на контролері необхідно в налаштуваннях проекту активувати Web-сервер та вибрати ті віртуальні прилади, до яких необхідно дозволити віддалений доступ. Дана функція дозволяє значно скоротити затрати часу, що необхідні на розробку HOST VI, однак може створювати навантаження на мережу передачі даних.

Крім модулів збору, для синхронізації часу та отримання значень поточної швидкості та координат до контролера підключений також GPS приймач, що встановлюється на шасі так же як і стандартного модулі. Так як приймач виробляється сторонньою компанією LabView Real Time Module не має стандартних засобів для отримання даних GPS, тому для взаємодії з ним використовується набір закритих віртуальних пристроїв, що встановлюється окремо. Крім того, для забезпечення коректного функціонування модулю в складі проекту до FPGA VI слід також додати SubVI, що поставляються разом із модулем.

У випадку, якщо ініціалізація пройшла успішно дані GPS представляються у вигляді кластеру або безпосередньо у текстовому форматі, що може бути використаний для відлгодження програмного забезпечення або інших задач.

Як приклад розроблена система була використана для збору вихідних даних призначених для діагностування демпфірувальних властивостей вагонів, на основі випробуваннь по скиданню з клинів. Натурні випробування проводились в у відповідному депо, яке забезпечує нагляд за технічним станом вагону.

Для обробки даних отриманих в ході випробувань було розроблено спеціальний програмний модуль, що приймає у якості вихідних даних бінарні файли відліків, які були отримані за допомогою CompactRIO.

Висновки

Перевагою розробленої системи є гнучкість її архітектури, висока швидкодія, достовірність обробки інформації, а також широкі можливості її представлення та реєстрації.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє проводити попередню обробку сигналів акселерометричних датчиків, виконувати фільтрацію завад за допомогою медіанного фільтра, та розраховувати логарифмічний декремент затухання та параметр демпфірування.

Список літератури

1. Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. – М.:ДМК Пресс, 2007. – 400 с.

2. National Instruments. «Измерения в LabVIEW» руководство по применению , 2004. – 864

3. Суранов А.Я, LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. – М.:ДМК пресс, 2007. - 536 с.

4. National Instruments. Создание приложений для NI CompactRIO в среде LabVIEW. Краткое руководство. 11с.

УДК 629.735.083.02/03.004.58(043.2)

А.А. Рижкова, Д.О. Харламов, М.В. Гладишевський,
О.В. Радько, к.т.н., доц., Н.А. Мєдвєдєва, к.т.н., доц.
(Національний авіаційний університет, Україна)

КОНТРОЛЬ ЛОПАТОК ТУРБІН І ІНШИХ ДЕТАЛЕЙ ЛІТАКІВ ДЕФЕКТОСКОПОМ УДЗ-71

Для забезпечення якісної діагностики авіаційної техніки найбільш широко застосовується ручний ультразвуковий контроль. Вирішення завдань ручного УЗК можливе за умови використання легкого і малогабаритного дефектоскопу, такого як мікропроцесорний дефектоскоп третього покоління УДЗ-71, що дозволяє вирішувати ширший спектр завдань при виконанні НК, завдяки своїм малим вазі, габаритам і функціональним можливостям.

Дефектоскоп УДЗ-71 дозволяє проводити ультразвуковий контроль об'єктів на наявність дефектів, з врахуванням сучасних вимог до технологій ультразвукового неруйнівного контролю.

УДЗ-71 - ультразвуковий дефектоскоп загального призначення.

Він призначений для:

- ручного неруйнівного контролю продукції на наявність дефектів типу порушення цілісності і однорідності матеріалу в сировині, готових виробах, напівфабрикатах, зварних, паяних, болтових, клепаних і інших з'єднаннях;
- виміру глибини і координат залягання дефектів;
- виміру товщини різних виробів при односторонньому доступі до них;
- виміру відношень амплітуд сигналів, відобитих від дефектів;
- виміру еквівалентних розмірів дефектів;
- оцінку швидкості поширення ультразвукових коливань в різних матеріалах.

Основні технічні характеристики дефектоскопу наведені в табл.1.

Таблиця 1

Параметри та характеристики	Значення параметрів
Ширина смуги пропускання частот ультразвукових коливань	від 0,4 до 15 МГц
Можливі встановлювані значення частот фільтру	0,4; 1,25; 1,8; 2,5; 5; 10; 15 Мгц
Значення номінальних частот повторення зондуючих імпульсів	від 100 до 1000 Гц з дискретністю установки 1; 10; 100 Гц
Діапазон зміни коефіцієнта підсилення приймального тракту	від 0 до 100 дБ
Динамічний діапазон сигналів, спостережуваних на екрані дефектоскопа	не менше 20 дБ
Діапазон контролю наявності дефектів по сталі	від 0,5 до 6000 мм з дискретністю 0,1; 1,0; 10,0; 100,0; 1000,0 мм
Діапазон вимірів глибини залягання дефектів у виробах зі сталі	від 0,5 до 6000 мм
Діапазон вимірів еквівалентного діаметру відбивача	від 0,8 до 20 мм
Діапазон установки тривалості затримки вимірювального строба	від 0,1 до 6000 мм з дискретністю установки 0,1; 1,0; 10,0; 100,0; 1000,0 мм
Діапазон установки лінійного компенсованоговідсічення	від 0 до 60 % висоти екрану з дискретністю установки 1%

Кількість програм налаштування дефектоскопа, що запам'ятовуються	не менше 100
Кількість зображень розгортки, що запам'ятовуються (А-скан зображень)	не менше 100
Кількість виміряних значень глибини, що запам'ятовуються (координат)	не менше 150 000
Маса дефектоскопа з акумуляторною батареєю (без комплекту ПЕП, кабелів і футляра)	не більше 0,720 кг
Габаритні розміри дефектоскопа	не більш 188 х 107 х 78 мм
Розмір робочої частини екрану дефектоскопа	не менше 71,52 х 53,64 мм
Середня тривалість безперервної роботи	не менше 12 год

Вживання сучасних методів цифрової обробки акустичних сигналів забезпечує неспотворену передачу форми акустичного сигналу, високу точність виміру товщини виробів і параметрів дефектів.

Управління функціями дефектоскопа організовано за принципом вкладених підменю.

Слід зазначити, що вживання нової сучасної елементної бази і яскравого, стійкого до прямого сонячного світла, висококонтрастного кольорового TFT-дисплея, з розрізнюванням 320*240, дозволило:

- позбавитися від такого недоліку, як інерційність екрану (така вада властива рідкокристалічним дисплеям), що дало можливість підвищити швидкість сканування при проведенні контролю;
- передбачити два незалежних вимірювальних строба АСД з системою сигналізації дефектів (звукова і світлова) по кожному зі стробів. При цьому кожен строб має:

- три рівні спрацьовування: "БРАКУВАННЯ"; "КОНТРОЛЬНИЙ"; "ПОШУКОВИЙ"; визначені на екрані дефектоскопа "ЧЕРВОНИМ", "СИНІМ" і "ЗЕЛЕНИМ" кольором, відповідні кольори світлової сигналізації АСД по кожному зі стробів;

- рівень спрацьовування звукової сигналізації визначається оператором по конкретному стробу;

- режим (по перевищенню або по неперевищенню встановленого рівня) визначається оператором для кожного зі стробів незалежно.

Міра захисту корпусу дефектоскопа від проникнення твердих тіл і води відповідає IP 65 по ГОСТ 14254. Дефектоскоп може експлуатуватися при температурі довколишнього повітря від -10 до +40° С.

Система автоматичного регулювання підсилення (АРП) дозволяє підтримувати необхідні рівні сигналів в процесі сканування. Систему АРП доцільно використовувати при налаштуванні рівня бракування чутливості по опорному сигналу в об'єкті контролю (наприклад, по донному сигналу). Для стробування опорного сигналу при роботі з системою АРП в дефектоскопі передбачений спеціальний строб АРП. Змінюючи рівень строба АРП по екрану дефектоскопа, можна регулювати рівень АРП відповідно від 25 до 100 %. Так само АРП можна використовувати для швидкого виміру амплітуди ехо-сигналів відносно рівня строба АРП.

Для вирівнювання ехо-сигналів по амплітуді, наприклад для компенсації загасання ультразвуку в об'єкті контролю застосовують систему часового регулювання чутливості (УРЧ). У дефектоскопі УДЗ-71 рівень УРЧ встановлюється в точці, вказаній оператором, і лінійно зменшується в сусідніх точках, не вказаних до цього, т.ч. можна задати різну форму кривої УРЧ - лінійну, ступінчасту і т.д. Рівень УРЧ відповідає ослабленню сигналу в даній крапці відносно встановленого значення посилення.

При контролі листових виробів можна користуватися режимом "РОЗМІТКА РОЗГОРТКИ ПО ВІДДЗЕРКАЛЕННЯХ", яка допомагає наочно представити розташування виявленого дефекту в контрольованому виробі.

Режим "пік" незамінний при пошуку дрібних дефектів, роботі в умовах нестабільного

акустичного контакту. При цьому на екрані, одночасно з максимально обвідною всіх спостережуваних ехо-сигналів (відображується жовтим кольором) відображається поточне значення сигналу. Цей режим використовується для знаходження максимальної амплітуди ехо-сигналу і оцінки умовної протяжності. Може бути використаний для документування результатів контролю як для забракованих, так і для придатних виробів, чим підтверджуватиметься наявність або відсутність дефектів по всьому периметру сканування.

Відмінова особливість дефектоскопа УДЗ-71 **- вимір умовних розмірів дефектів.**

Використовуючи АРД-діаграми, дефектоскоп УДЗ-71 дозволяє проводити виміри еквівалентних розмірів дефектів в діапазоні від 0,8 до 20,0мм (еквівалентних діаметру дефекту) з відносною похибкою, що не перевищує 15%.

У УДЗ-71 використання АРД-діаграм дозволяє автоматизувати налаштування дефектоскопа. Система АРД-діаграм дозволяє автоматично налаштувати УРЧ дефектоскопа відповідно до АРД-діаграми для вибраного ПЕП таким чином, що амплітуди ехо- сигналів від дефектів із заданими еквівалентними площами знаходитимуться на рівні, заданому в меню рівень бракування - "Брак.ур.". Крім того, є можливість побудови АРД-кривої для заданого еквівалентного діаметру на екрані дефектоскопа.

Система використання АРД-діаграм в УДЗ-71 дозволяє працювати з датчиками наступних типів: прямі суміщені ПЕП поздовжньої хвилі; похилі суміщені ПЕП поперечної хвилі з частотами від 1,62 до 5,5 МГц і кутами введення від 36° до 73°.

Аби налаштувати УДЗ-71 для роботи з АРД необхідно ввести лише декілька параметрів використовуваного перетворювача і по опорному сигналу від відбивача в контрольному зразку, наприклад від отвору діаметром 6 мм в СО-2, зробити калібрування приладу для роботи в режимі АРД. Налаштування з АРД-діаграмами для конкретних завдань контролю можна зберегти в незалежній пам'яті приладу.

У дефектоскопі УДЗ-71, разом з простими режимами налаштування і роботи, також представлені нові "експрес-режими", націлені на підвищення точності вимірів і зменшення тимчасових витрат при підготовці приладу до контролю. Одним з них є режим напівавтоматичного калібрування параметрів ПЕП і об'єкту контролю. Даний режим дозволяє максимально спростити процес попереднього налаштування дефектоскопа при підключенні нового ПЕП, або калібрування використовуваного ПЕП.

Наприклад, для напівавтоматичного калібрування прямих ПЕП на довільному зразку досить задати товщину зразка і ініціалізувати вимір. Результатом виміру є виміряні значення швидкості ультразвуку в зразку і значення затримки в призмі ПЕП. Отримані параметри можна зберегти як поточні або провести вимір повторно.

Для похилих ПЕП вибір варіантів калібрування значно багатший: є можливість калібрувати затримку в призмі на СО-3, кут введення - на СО-2, а швидкість - по будь-якому відбивачеві в об'єкті контролю - наприклад по сигналу від торця.

З іншого боку, можна обійтися взагалі без стандартних зразків, відкалібрувавши всі три величини за двома віддзеркаленнями від торця об'єкту контролю - прямим і відбитим променями.

І, нарешті, можна відкалібрувати затримку в призмі і швидкість ультразвуку в об'єкті контролю за будь-якими двома відбивачами в об'єкті контролю, наприклад за його конструктивними особливостями.

У приладі реалізована можливість калібрування прямих і похилих ПЕП, а також ПЕП поверхневої хвилі.

Використовуючи спеціальне програмне забезпечення "Ultra UDx-7x" оператор має можливість завдяки вбудованому USB-порту передавати в ПЕВМ "Б-скани" і "А-скани" для створення звітів за результатами контролю або баз даних. За необхідності в дефектоскоп з персонального комп'ютера можуть бути введені користувачем програми налаштувань на конкретні види контролю, що значно скорочує час підготовки дефектоскопа до проведення контролю.

Для виміру товщини виробу і координат дефектів використовується недетектований

сигнал RF, що дозволяє забезпечити дискретність виміру 0,01 мм. У приладі передбачено два режими вибору точки на кривій сигналу, по якій проводяться виміри (автоматичний і ручний). У автоматичному режимі можлива установка спрацьовування вимірювального пристрою по піку або по фронту сигналу.

При роботі з похилими перетворювачами дефектоскоп автоматично вимірює координати дефекту з врахуванням кута введення УЗК, затримки в призмі конкретного типу ПЕП. На екрані дефектоскопа в першому рядку інформаційної частини може одночасно відображатися до п'яти виміряних параметрів.

УДЗ-71 може з успіхом застосовуватися при контролі товщини основного металу різного технологічного устаткування. Візуалізація процедури вимірювання товщини дозволяє уникнути поширених помилок при вимірі її "сліпими" товщиномірами.

Широкий спектр пропонованих перетворювачів, як для дефектоскопії, так і для товщинометрії, з робочою частотою від 400 кГц до 15 МГц дозволяє вирішувати багато завдань споживачів. Для роботи з дефектоскопом УДЗ-71 випускається серійно близько 48 типів найменувань ультразвукових перетворювачів. Під конкретну технологію контролю дефектоскоп УДЗ-71 може бути укомплектований спеціалізованими перетворювачами.

Для проведення достовірного ультразвукового контролю і виміру товщини виробів з грубою поверхнею введення УЗК для дефектоскопа розроблені спеціалізовані перетворювачі із змінними м'якими плівковими протекторами. При зношуванні протектора він замінюється новим і, споживачеві немає необхідності купувати новий перетворювач.

Корпус приладу виконаний з ударомічного пластика, плівкова клавіатура маслобензостійка. Розташування кнопок клавіатури і ергономічний корпус дозволяють утримувати і управляти дефектоскопом однією рукою, що важливо при обстеженні кранів і висотних об'єктів, при проведенні контролю на монтажі. Шкіряний чохол передбачає різні варіанти кріплення на руку дефектоскопіста.

Комплект постачання дефектоскопа включає все необхідне для проведення контролю обладнання. Підприємство-виробник НПФ "Промприлад" забезпечує гарантійне (у продовж 18 місяців з моменту постачання) і післягарантійне обслуговування дефектоскопа. При впровадженні приладу УДЗ-71 НПФ "Промпрілад" надає сприяння по навчанню і перенавчанню дефектоскопистов для впровадження сучасних технологій ультразвукового контролю на виробництві.

За позитивними результатами Державних приймальних випробувань і виробничих випробувань дефектоскоп УДЗ-71 внесений до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки допущених до використання в Україні.

Висновки

Підводячи підсумок, хочеться відзначити, що всі розглянуті режими дефектоскопа відкривають широкі можливості для роботи фахівця-дослідника в побудові нових методик УЗК і, в той же час, простота в управлінні дозволяє працювати фахівцям початкового рівня. Вживання УДЗ-71 дозволить полегшити працю дефектоскопіста і зробить контроль максимально достовірним і технологічним.

Список літератури

1. *Власов В.Т.*, Дубов А.А. Физические основы метода магнитной памяти металла. М.: ЗАО "ТИССО", 2004, 424с.

2. *Ермолов И. К. , Алешин Н. П., Потапов А. И.* Акустические методы контроля — М.: Высш. школа, 1999.

3. *Гетьман А. Ф., Козин Ю. Н.* Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления — М.: Энергоатомиздат, 1997.

4. *Шрайбер Д. С.* Ультразвуковая дефектоскопия — М.: Металлургия, 2001.

УДК 519.237(043.2)

Ю.Ю. Васильєва, А.М. Мельник,
(Національний авіаційний університет, Україна)

КОМП'ЮТЕРНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ В ЗАДАЧАХ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Моделювання є одним з найбільш поширених способів вивчення об'єктів, систем і явищ, які зустрічаються на практиці. Як метод наукового дослідження, з'явилося у зв'язку з необхідністю вирішувати такі завдання, які з яких-небудь причин, наприклад, внаслідок небезпеки або неможливості прямого експерименту не могли бути вирішені безпосередньо.

Метод дослідження явищ і процесів, що ґрунтується на заміні конкретного об'єкта досліджень (оригіналу) іншим, подібним до нього (моделлю) називається моделюванням.

Розрізняють фізичне і математичне моделювання. При фізичному моделюванні модель відтворює досліджувану систему із збереженням її фізичної природи. Переваги фізичного моделювання перед натурним експериментом полягає в тому, що умови реалізації процесу-моделі вибираються виходячи зі зручності й простоти дослідження, єдина вимога при цьому – збереження співвідношень подібності, що випливають із закономірностей фізичної природи. Це обмежує область застосування фізичного моделювання.

Більш широкі можливості надає математичне моделювання – спосіб дослідження об'єктів, систем та явищ шляхом вивчення процесів, що мають різний фізичний зміст, але описуються однаковими математичними відносинами.

При вивченні будь-якої системи методом математичного моделювання необхідно побудувати її математичну модель, тобто за допомогою математичних співвідношень описати функціонування системи.

Математична модель – є абстрактним формально описаним об'єктом, вивчення якого можливе математичними методами.

Виходячи зі способу подальшого використання математичної моделі для вивчення системи, моделі ділять на аналітичні та імітаційні. В аналітичних моделях процеси записуються у вигляді функціональних співвідношень та логічних умов. В імітаційних моделях замість аналітичної форми запису досліджуваного процесу використовується алгоритмічний опис.

Зазвичай спосіб дослідження вибирається після того, як математична модель реального об'єкта вже побудована.

Методика математичного моделювання зводиться до наступного етапам:

а) Складання рівняння (або системи рівнянь) для модельованого процесу:

$$F(y, x_j, q_i, t) = 0$$

б) Вибір відомої або створення нової математичної моделі, знаковий опис якої аналогічний опису оригіналу

$$F_M(y_M, x_{Mj}, q_{Mi}, t_M) = 0$$

Рівняння моделі зазвичай називають машинним рівнянням.

в) Забезпечення подібності рівнянь за рахунок відповідного вибору визначення масштабів моделей та розрахунку коефіцієнтів машинного рівняння:

$$M_y = \frac{y_M}{y}; \qquad M_x = \frac{x_M}{x}; \qquad M_t = \frac{t_M}{t}.$$

г) Рішення на моделі машинного рівняння $F_M = 0$.

Побудова математичної моделі полягає у визначенні зв'язків між тими чи іншими процесами і явищами, створенні математичного апарату, що дозволяє висловити кількісно і якісно зв'язок між тими чи іншими процесами і явищами, між фізичними величинами і факторами, що впливають на кінцевий результат.

Моделювання на електронній обчислювальній машині (ЕОМ) випадкових елементів підпорядковується двом основним принципам:

1) подібність між випадковим елементом-оригіналом і його моделлю на ЕОМ полягає в близькості імовірнісних законів розподілу або числових характеристик;

2) всякий випадковий елемент визначається ("конструюється") як деяка борелівська функція від найпростіших, так званих базових випадкових величин.

Під статистичним моделюванням розуміється відтворення за допомогою ЕОМ функціонування ймовірнісної моделі деякого об'єкта. Мета моделювання такого роду полягає в оцінюванні з його допомогою середніх характеристик моделі. Зазвичай це – математичне сподівання величин, що характеризують систему, їх дисперсії і коваріації.

Мистецтво статистичного моделювання полягає в тому, щоб при заданому рівні надійності цікавлять величин побудувати алгоритм, оптимальний у сенсі деякого критерію. Критерієм такого роду звичайно вважають кількість обчислювальної роботи, необхідне для досягнення заданої точності.

Метод статистичного моделювання (чи метод Монте-Карло) – це спосіб дослідження невизначених (стохастичних) економічних об’єктів і процесів, коли не повністю (до певної міри) відомими є внутрішні взаємодії в цих системах.

Нормально розподілена випадкова величина повністю характеризується своїми першими двома моментами – математичним сподіванням та дисперсією.

Цей метод полягає у модельному відтворенні процесу за допомогою стохастичної математичної моделі та обчисленні характеристик цього процесу. Одне таке відтворення можливого (випадкового) стану функціонування модельованої системи називають реалізацією.

Після кожної реалізації реєструють сукупність параметрів, що характеризують випадкову подію. Метод ґрунтується на багатократних випадкових реалізаціях на підставі побудованої моделі з подальшим статистичним опрацюванням отриманих даних з метою визначення числових характеристик досліджуваного об’єкта (процесу) у вигляді статистичних оцінок його параметрів. Процес моделювання економічної системи зводиться до машинної імітації досліджуваного процесу, котрий моделюється на ЕОМ з усіма суттєвими невизначеностями, випадковостями і породженим ними ризиком. Імітаційне моделювання нерідко має назву симулятивного моделювання

Для моделювання випадкової величини потрібно знати закон її розподілу. Найзагальнішим способом отримання послідовності випадкових чисел, що є послідовністю реалізацій випадкової величини, котра розподілена за довільним законом, є спосіб, в основі якого – процес формування їх з вихідної послідовності випадкових чисел.

Послідовність випадкових чисел з рівномірним законом розподілу можна отримати трьома способами:

- використанням таблиць випадкових чисел;
- застосуванням генераторів випадкових чисел;
- методом псевдовипадкових чисел.

Псевдовипадковими (випадковими) числами є числа, отримані за деяким правилом (формулою), що імітує значення випадкової величини. Розроблено низку алгоритмів для отримання псевдовипадкових чисел. Датчики псевдовипадкових чисел є складовими більшості програмних комплексів.

Перетворення Фур'є – інтегральне перетворення однієї комплекснозначної функції дійсної змінної на іншу. Це перетворення розкладає дану функцію на осциляторні функції. Використовується для того, щоби розрахувати спектр частот для сигналів змінних у часі (таких як мова або електрична напруга).

Від неправильного задання моделі експериментального матеріалу може спостерігатися значна втрата точності та достовірності результатів обробки.

Нормальний (гауссовский) розподіл займає центральне місце в теорії та практиці ймовірнісно-статистичних досліджень.

Будь-яка складна динамічна система створюється для вирішення певної теоретичного чи виробничого завдання. У зв'язку з погіршенням властивостей системи в процесі експлуатації виникає потреба в періодичному обслуговуванні, мета якого зберегти здатність системи виконувати свої функції.

При проектуванні технічних систем необхідно передбачити питання обслуговування в процесі передбачуваної експлуатації, а також: спроектувати і створити комплекс, що відповідає заданим технічним вимогам; дати економічну оцінку комплексу, з огляду на випробування і умови передбачуваної експлуатації; розробити технічні засоби обслуговування комплексу та математичне забезпечення до них (алгоритми контролю, обробки інформації та видачі рішення про технічний стан контрольованого комплексу); передбачити найкращу пристосованість комплексу для роботи в ланці "людина-машина".

Прикладами складних систем є: літак, окремий його комплекс, автоматична лінія обробки деталей, система енергопостачання і т. п. Характерною рисою технічного прогресу є об'єднання технічних пристроїв (ТП) в сукупності або великі системи, пов'язані спільністю розв'язуваної задачі, спільністю обслуговування і технології застосування або іншими ознаками спільності.

Основні ознаки складної системи або ТП:

1. Володіння певною єдністю мети і сприяння виробленню оптимальних виходів з наявної безлічі входів. Оптимальність виходів повинна оцінюватися за заздалегідь розробленим критерієм ефективності.

2. Виконання великої кількості різних функцій, які здійснюються безліччю частин, які входять до системи.

3. Складність функціонування (зміна однієї змінної тягне за собою зміну багатьох змінних і, як правило, нелінійним чином).

4. Високий ступінь автоматизації.

5. Неможливо передбачити точне значення зовнішніх навантажень, а застосування альтернативних методів визначення пікових навантажень досить складно.

Експлуатація складного ТП – це безперервний процес, який включає ряд заходів, що вимагають планового, безперервного впливу на ТП для підтримування його в робочому стані. До таких заходів належать: планове технічне обслуговування, відновлення працездатності після відмови, зберігання, підготовка до роботи та ін. Здійснення цих заходів у більшості випадків вимагає значних витрат сил, засобів і часу.

Наведене визначення експлуатації не охоплює всіх тих заходів, які складають процес експлуатації складних систем. Тому під експлуатацією в широкому сенсі слід розуміти процес використання ТП за призначенням і підтримання його в технічно справному стані.

Експлуатація ТП на сучасному етапі неможлива без чіткої організації процесу експлуатації, тобто без перспективного планування і управління. Для того щоб управляти процесом експлуатації, необхідно передбачити можливі стани ТП в майбутньому. Стан ТП визначається сукупністю значень його технічних характеристик. У загальному випадку можна вважати, що в процесі експлуатації технічні характеристики пристрою змінюються безперервно, тому і станів ТП може бути нескінченна безліч. Однак для організації експлуатації важливо розрізняти стани ТП, що відповідають крайнім або допустимим (граничним) значень технічних характеристик, які відповідають робочому стану, відмови, стану технічного обслуговування, зберігання, поновлення і т.п.

При вирішенні основного завдання експлуатації використовується ймовірнісно-статистичний підхід до прогнозування та управління станами складних систем і моделювання експлуатаційних процесів.

Сучасний період технічного розвитку характеризується масовим застосуванням складних систем технічних пристроїв і комплексів, технічні характеристики яких (швидкість, точність, міцність, жаростійкість і т. п.) дуже високі.

Однак навіть найдосконаліші початкові технічні характеристики ТП є хоч і необхідними, але ще недостатніми умовами високих експлуатаційних якостей ТП. Початкові

характеристики ТП показують лише його потенційні технічні можливості, які можуть бути повністю використані в процесі його експлуатації чи ні. Будь-який ТП має поряд з чудовими початковими технічними характеристиками володіти здатністю зберігати ці характеристики протягом усього терміну експлуатації.

Здатність будь-якого ТП зберігати свої початкові технічні характеристики в процесі експлуатації визначається його надійністю. Таким чином, фізичний зміст надійності (однієї з головних експлуатаційних властивостей) полягає в здатності ТП зберігати свої характеристики в часі.

Експлуатаційними характеристиками є також готовність до застосування, відновлюваність, параметри технічного обслуговування (обсяг і періодичність обслуговування, економічність та ін.). Надійність може визначаться як самостійна характеристика ТП, так і служити складовою інших експлуатаційних характеристик.

При моделюванні процесів експлуатації та застосування знову створюваних ТП часто немає необхідного вихідного статистичного матеріалу. Виникає необхідність моделювання процесів, що протікають всередині ТП. Передбачається наявність додаткового обчислювального блоку, що виробляє обробку одержуваних статистичних даних і визначення деяких параметрів експлуатації ТП (строків перевірок на працездатність, виконання робіт з технічного обслуговування і т. д.).

При вивченні випадкових процесів методом статистичних випробувань в обчислювальному пристрої спеціалізованої машини використовуються аналогові обчислювальні ланцюги, цифрові логічні та керуючі ланцюги. Управління швидкими аналоговими обчисленнями здійснюється за допомогою дискретної програми. У аналогову обчислювальну машину, наприклад при моделюванні системи управління, системи зв'язку і т.д., вводяться випадкові змінні, початкові умови та параметри. Використовуються генератори шумів, вихідні сигнали яких підпорядковуються гаусовскому закону розподілу.

Сукупність формальних правил і математичних операцій, виконуваних у певному порядку при реалізації алгоритму, настільки велика, що необхідна спеціальна організація роботи системи обчислювальних машин.

Завдання, які вирішуються в процесі моделювання задачі характеризуються наявністю великої кількості різноманітної інформації, що підлягає обробці, і безліччю логічних операцій, які необхідно виконувати в процесі її обробки.

Висновок

Статистичне моделювання широко застосовується для вирішення на ЕОМ інтегральних рівнянь, наприклад, при дослідженні великих систем. Вони зручні своєю універсальністю, як правило, не вимагають великого обсягу пам'яті. Недолік – великі випадкові похибки, занадто повільно спадають при збільшенні числа експериментів.

Список літератури

1. *Харин Ю.С., Степанова М.Д.* Практикум на ЭВМ по математической статистике. Минск: Университетское, 1987.

2. *Ермаков С.М., Михайлов Г.А.* Курс статистического моделирования. М.: Наука, 1976.

3. *Кнут Д.* Искусство программирования для ЭВМ. М.: Мир, 1977. Т. 2. Получисленные алгоритмы.

4. *Дедков В. К., Северцев Н. А.* Основные вопросы по эксплуатации сложных систем. М.: Высшая школа, 1976.

УДК 066.91:620 (043.2)

М.В. Гладишевський, А.А. Рижкова, Д.О. Харламов
(Національний авіаційний університет, Україна)

ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

Державна метрологічна служба організовує, здійснює та координує діяльність, спрямовану на забезпечення єдності вимірювань, а також виконує державний метрологічний контроль і нагляд за проведенням єдиної у країні технічної політики щодо забезпечення єдності вимірювань та додержанням вимог, нормативно-технічних актів і нормативних документів з метрології.

Державна метрологічна система забезпечує єдність вимірювань у державі і спрямована на:

- реалізацію єдиної технічної політики в галузі метрології;
- захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань;
- економію усіх видів матеріальних ресурсів;
- підвищення рівня фундаментальних досліджень і наукових розробок;
- забезпечення якості конкурентоспроможності вітчизняної продукції;
- створення науково-технічних, нормативних та організаційних основ забезпечення єдності вимірювань у державі.

Діяльність щодо забезпечення функціонування та розвитку державної метрологічної системи координує Державний комітет України із стандартизації, метрології та сертифікації (далі — Держстандарт України) — центральний орган виконавчої влади.

Метрологічна служба України складається із Державної метрологічної служби і метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств та організацій.

Держстандарт України безпосередньо підпорядкований Кабінету Міністрів України, який здійснює загальне керівництво Держстандартом, затверджує загальнодержавні стандарти і проводить механічну політику в країні.

До Державної метрологічної служби належать:

- відповідні підрозділи центрального апарату Держстандарту України;
- державні наукові метрологічні центри;
- територіальні органи Держстандарту України в автономній республіці Крим, областях, містах Києві і Севастополі та містах обласного підпорядкування;
- державна служба єдиного часу та стандартних частот;
- державна служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів;
- державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.

До складу Держстандарту України входять декілька науково-дослідних інститутів (Львівський ДНДІ "Система", Харківське науково-виробниче об'єднання "Метрологія", УкрНДИССІ), два навчальних заклади (Вище училище метрології та якості в Одесі та український навчально-науковий центр із стандартизації, метрології та якості продукції у Києві), заводи "Еталон" (у Києві, Харкові, Донецьку, Умані, Білій Церкві), дослідні заводи "Прилад" (у Вінниці та Полтаві), магазини стандартів у Києві та Харкові.

Крім того, до Держстандарту входять метрологічні служби міністерств (відомств) центральних органів виконавчої влади, об'єднань, підприємств та організацій, які підпорядковані територіальним органам або центрам.

Рішення Держстандарту України з питань метрології, прийняті у межах його компетенції, є обов'язковим для виконання центральними та місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, організаціями, громадянами-суб'єктами підприємницької діяльності та іноземними виробниками.

Метрологічні центри Держстандарту України виконують роботи, пов'язані із створенням, вдосконаленням, зберіганням і застосуванням державних еталонів, створенням систем передачі розмірів одиниць вимірювань, розробленням нормативних документів з метрології, а також здійснюють державний метрологічний контроль.

Територіальні органи Держстандарту України виконують на відповідній території завдання і функції Держстандарту України у межах, визначених положенням про ці органи та наказами Держстандарту України.

Основною метою технічного регулювання у галузі метрології згідно із Законом України є забезпечення єдності вимірювань (ЗЄВ) в Україні та захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань. На підприємствах та в організаціях ЗЄВ є головною метою метрологічної діяльності, яка безпосередньо впливає на якість та конкурентоспроможність продукції.

Для створення необхідних засад ЗЄВ у країні повинні бути сформовані вимоги, правила та норми здійснення метрологічних робіт, визначено організаційні, наукові та технічні основи. Для визначення сукупності необхідних ресурсів Законом у 1998 році введено поняття «державна метрологічна система» (ДМС), визначення якого наведено у редакції цього закону 2004 року: це «сукупність законодавчих та інших нормативно-правових актів, організаційної структури, наукової, технічної та нормативної бази з метрології, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань у державі». Тому діяльність ДМС має значення для усіх підприємств та організацій України незалежно від сфери їхньої діяльності.

В Україні з моменту незалежності держави почалося формування організаційних, науково-технічних і нормативної основ ЗЄВ. Але введення поняття «ДМС» стало новим кроком у розвитку метрології.

Виникло завдання подальшого удосконалення правил та норм у галузі метрології на підставі урахування сучасних вимог національної економіки та прийнятих у країні орієнтирів на міжнародні взаємовідносини.

Одним із важливих компонентів ЗЄВ є законодавчі та інші нормативно-правові акти. На цей час до нормативно-правових актів ДМС, крім , входить понад 10 постанов Кабміну та понад 25 положень і правил з метрології, затверджених наказами Держспоживстандарту і зареєстрованих у Мінюсті. Ці документи створюють законодавчу основу ЗЄВ в Україні, регламентуючи хто, як і на якій підставі може здійснювати метрологічну діяльність. Незважаючи, що засади ЗЄВ на підставі ДМС встановлено майже 10 років тому, на практиці термін «ДМС» широко не застосовується, що засвідчує необхідність активнішої діяльності стосовно створення основоположних нормативних документів (НД) з метрології для впровадження нових понять у метрологічну практику. На цей час продовжується застосування застарілих понять у галузі метрології та процедур метрологічної діяльності. Так, до цього часу активно застосовуються терміни «метрологічне забезпечення», який необхідно замінити на «забезпечення єдності вимірювань»; «відомча повірка», який замінено на «калібрування», «нормативно-технічна документація», який замінено на «нормативні документи» тощо.

Поняття «єдність вимірювань» визначено у Законі України як такий стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а характеристики похибок або невизначеностей вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені границі. Для забезпечення такого стану вимірювань на підприємстві необхідно застосовувати відповідні ресурси: фахівці, приміщення із відповідним навколишнім середовищем, НД, засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), випробувальне обладнання, — а також мати відповідне фінансування метрологічної діяльності.

Велике значення для ЗЄВ на підприємстві та в організації має наявність метрологічної служби (МС). У Законі України встановлено, що на підприємствах та в організаціях, які виконують роботи у сфері державного метрологічного нагляду (ДМН), обов'язково створюються МС або призначаються особи, відповідальні за ЗЄВ. Адже багаторічна практика функціонування МС на підприємствах та в організаціях підтверджує доцільність їх створен-

ня. Значним є внесок МС у забезпечення якості продукції та її конкурентоспроможності, у зменшення фінансових збитків за результатами ДМН та від рекламацій. Тому на тих підприємствах, де вони були скасовані або набагато зменшені, слід розглянути питання щодо їх розвитку.

Необхідно звернути увагу, що в міжнародному стандарті ІЗО 10012:2003, який в Україні упроваджено як ідентичний національний стандарт, зазначено, що МС повинна бути визначена організацією:

- керівництво організації повинне забезпечити необхідні ресурси для створення МС і підтримання її функціонування;
- МС може бути окремим підрозділом або розподілена;
- керівництво МС повинне встановити і задокументувати обов'язки персоналу, діяльність якого пов'язана із системою управління вимірюваннями;
- керівництво МС повинне забезпечити підтвердження здатності персоналу виконувати установлені види робіт;
- керівництво МС повинне забезпечити проведення навчання у необхідних галузях, ведення документації результатів навчання, а також оцінювання і документування ефективності навчання;
- персонал повинен бути ознайомлений з переліком своїх обов'язків та відповідальністю, а також проінформований стосовно впливу його діяльності на ефективність системи управління вимірюваннями та якість продукції;
- компетентність персоналу може бути досягнута через освіту, навчання, практичний досвід та проведення випробування або нагляд за діяльністю.

Якщо підприємство має за мету правильно організувати діяльність своєї МС, спрямувавши її на підвищення якості та конкурентоспроможності продукції, що випускається, положення ДСТУ 150 10012 безперечно сприятимуть цьому. Слід лише звернути увагу на те, що в цьому стандарті використано терміни, які не застосовуються у Законі України. Тому для кращого розуміння міжнародних вимог, можна замінити вираз «система управління вимірюваннями» на вираз «забезпечення єдності вимірювань».

Кожна МС повинна мати положення, яке розроблюється згідно з типовим положенням про МС. Положення про МС підприємства або організації затверджується їх керівником і відповідно до ст. 17 Закону України погоджується з територіальним органом Держспоживстандарту за місцезнаходженням цього підприємства (організації).

Актуальним питанням для ЗЄВ на підприємствах є створення фонду НД з метрології.

Залежно від об'єкта стандартизації, положень документа та процедур надання йому чинності, розрізняють такі НД:

- Центрального органу виконавчої влади у сфері метрології (далі — Держспоживстандарт);
- інших Центральних органів виконавчої влади (ЦОВВ);
- підприємств та організацій.

При цьому НД мають чинність відповідно до рівнів суб'єктів стандартизації, встановлених законодавством України. За рівнями суб'єктів стандартизації в Україні розрізняють:

- міждержавні;
- національні;
- галузеві ЦОВВ;
- підприємств, установ та організацій.

З 01.07.2002 міждержавні стандарти впроваджуються як національні (ДСТУ ГОСТ або ДСТУ/ГОСТ (для міждержавних стандартів, розроблених в Україні)).

Залежно від об'єкта стандартизації встановлено такі види НД:

- основоположні (організаційно-методичні, загально-технічні, що містять метрологічні вимоги, та термінологічні);
- методичні на:

- визначення похибок або невизначеності вимірювання;
- визначення метрологічних характеристик ЗВТ;
- методи вимірювання, аналізування, контролювання;
- методики виконання вимірювання;
- методики повірки (калібрування) ЗВТ;
- державні повірочні схеми;
- програми та методики метрологічної атестації ЗВТ;
- типові програми державних випробувань ЗВТ.

НД національного рівня розроблюються на об'єкти стандартизації державного значення та затверджуються Держспоживстандартом.

НД міждержавного рівня розроблюються і приймаються на засадах пріоритетності на підставі висновку національного наукового метрологічного центру, державних наукових метрологічних центрів Держспоживстандарту (далі — метрологічні центри). Прийняті встановленим порядком міждержавні НД впроваджуються наказом Держспоживстандарту як національні стандарти.

Основоположні загально-технічні стандарти та стандарти на методи контролювання, в яких встановлено вимоги до методів, методик вимірювань, метрологічних характеристик ЗВТ, похибок вимірювання тощо, повинні надсилатися на розгляд та погодження до метрологічних центрів відповідно до закріплених видів вимірювання та до технічних комітетів стандартизації за сферами їхньої діяльності для встановлення відповідності вимогам чинних НД.

НД усіх рівнів повинні містити чіткі положення стосовно прав власності на документи та необхідні реквізити для звертання зацікавлених осіб стосовно врегулювання прав власності. Тому при розроблені НД на підприємстві слід зазначати згідно з «Єдиним державним реєстром підприємств і організацій України» (ЄДРПОУ) код юридичної особи, якій належить право власності на відповідний документ. Ці документи повинні мати реєстраційні номери НД і належати до групи «Метрологія».

Вимоги НД Держспоживстандарту є обов'язковими для виконання центральними і місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, організаціями, фізичними особами — суб'єктами підприємницької діяльності та іноземними виробниками

Вимоги НД інших ЦОВВ (які по суті є галузевими) є обов'язковими для виконання підприємствами та організаціями, що належать до сфери управління відповідних ЦОВВ або належать до сфери, в якій реалізація державної політики є повноваженням цих органів.

Необхідно мати на увазі, що НД вважають упровадженим на підприємстві або організації, якщо положення встановлені ним дотримуються у відповідній сфері застосування.

Висновок

Основоположні загально-технічні стандарти та стандарти на методи контролювання, в яких встановлено вимоги до методів, методик вимірювань, метрологічних характеристик ЗВТ, похибок вимірювання тощо, повинні надсилатися на розгляд та погодження до метрологічних центрів відповідно до закріплених видів вимірювання та до технічних комітетів стандартизації за сферами їхньої діяльності для встановлення відповідності вимогам чинних НД.

Список літератури

1. *Бичківський Р.В.* Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація. Вид-во НУ «Львів. політехніка», 2004. – 560с.

2. *Журнал* «Метрологія та прилади» ВКФ «Фавор» 2008.- 72с.

УДК 517.587(043.2)

А.М. Мельник, Ю.Ю. Васильєва
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОРТОГОНАЛЬНІ ФІЛЬТРИ ЛАГЕРА В ЗАДАЧАХ ВИМІРЮВАНЬ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ

Сучасні кореляційні системи є апаратно-програмними комплексами, які мають значний потенціал цифрової обробки сигналів. Актуальність даної роботи підтверджується тим, що запропоновано використати в якості вхідних лінійних фільтрів – ортогональні фільтри Лагера.

Теорія ортогональних функцій, що є частиною загальної теорії функцій, широко застосовується в найрізноманітніших галузях науки і техніки. Ортогональні системи функцій грають важливу роль в технічних додатках головним чином у зв'язку з можливістю розкладу певного класу функцій у ряди по ортогональних функціях. Вони служать базисними координатними функціями при передачі інформації, розкладанні сигналів і характеристик лінійних і нелінійних систем. Класичним прикладом ортогональної системи функцій на нескінченному інтервалі являється система поліномів Лагера $\left\{L_n^a(x), n = 0,1,2\ldots\right\}$.

Ортогональним фільтром називається лінійна система, імпульсні перехідні функції ланок якої представляють собою деяку систему ортогональних функцій. У теперішній час ортогональні фільтри все більше застосовуються в технічних додатках. Зокрема, ортогональні фільтри використовуються для отримання електричних сигналів, що описуються ортогональними функціями. Саме широке розповсюдження отримали ортогональні фільтри Лагера, який складається з каскадного з'єднання лінійних ланок (рис.1).

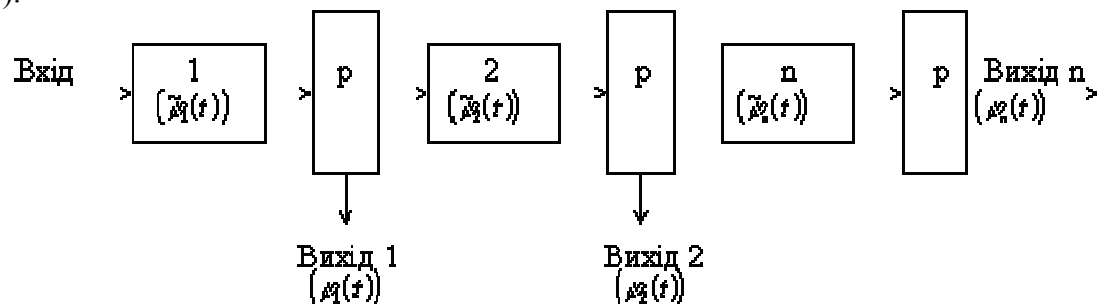


Рис. 1 Загальний вигляд фільтра Лагера

де $1,2,\ldots,\ n$ - лінійні ланки з імпульсними реакціями $\left\{\widetilde{\varphi}_i(t), i = \overline{1,n}\right\}$, p - узгоджуюча ланка, необхідна для узгодження підключеного навантаження (зовнішнього кола), а також вхідного і вихідного опорів лінійних ланок фільтра.

При такому каскадному з'єднанні ортогональний фільтр характеризується послідовністю імпульсних перехідних функцій $\left\{\widetilde{\varphi}_i(t), i = \overline{1,n}\right\}$, які формують систему ортогональних функцій. Функція $\varphi_i(t)$ - імпульсна реакція ортогонального фільтра і описується функцією Лагера $l_{i-1}(t)$.

$$l_i(t) = L_i(t) \cdot \exp\left(-\frac{t}{2}\right), \qquad \begin{array}{l} t > 0, \\ i = 0,1,2,\ldots \end{array}$$

де $L_n(t)$ - ортогональний поліном Лагера.

Метод реалізації ортогональних фільтрів на інтеграторах зручний, коли відгуки фільтрів описуються ортогональними поліномами. Фільтри цього типу близькі по конструкції до канонічних в тому відношенні, що ланки фільтрів більш низьких порядків

цілком використовуються в якості складових частин схеми фільтрів більш високих порядків. Фізично це стає очевидним, якщо звернути увагу на те, що для отримання полінома n -го ступеня досить проінтегрувати деякий поліном ступеня $n-1$.

Метод проектування системи фільтрів з однаковими фазовими характеристиками. Найпростішим випадком системи фільтрів, що задовольняють співвідношенню ортогональності, являються фільтри з нульовими фазовими характеристиками. Відповідні їм імпульсні відгуки тоді повинні бути парними функціями ортогональними на осі часу в нескінченному інтервалі. Відгуки такого виду фізично не реалізовуються. Формально кожен відгук такого виду можна представити у вигляді суми фізично реалізованого відгуку $g_m(t) = 1(t)k_m(t)$.

Найбільш часто зустрічаються в практичних завданнях характеристики випадкових процесів, що являються функціями автокореляції і взаємної кореляції, а також відповідні їм енергетичні спектри. На практиці для визначення функцій кореляції ергодинамічних сигналів застосовується пристрій, який називається корелометром. Корелометр є основним приладом при експериментальному дослідженні випадкових процесів. Блок-схема корелометра з ортогональними фільтрами відрізняється від традиційної схеми лише тим, що лінія затримки замінюється вибраною системою ортогональних фільтрів. Корелометр на ортогональних фільтрах можна використовувати і як аналізатор енергетичного спектру.

Ортогональні фільтри легко реалізуються з незначними похибками, в той час, як при конструктуванні лінії затримки чи смугових фільтрів для коррелометров і аналізаторів спектру зазвичай зустрічається набагато більше труднощів. Корелометри на ортогональних фільтрах є зручними в тих випадках, коли спектральні щільності досліджуваних процесів бажано представити аналітично у вигляді дробово-раціональних функцій. Важливою особливістю корелометрів на ортогональних фільтрах є те, що для заданого класу кореляційних функцій можна вибрати оптимальну систему фільтрів так, що помилки апроксимації, викликані кінцевим числом утримуваних членів ряду, зводяться до мінімуму. Недоліком корелометрів на ортогональних фільтрах є відсутність наочності отриманих результатів аналізу.

При використанні результатів аналізу корелометра на ортогональних фільтрах в кожному конкретному випадку доводитися оцінювати похибки вимірювання. Джерелами похибок являються: кінцеве число членів апроксимуючого ряду, похибки реалізації ортогональних фільтрів та інших вузлів схеми, статистичні похибки.

Завдяки широкому поширенню ЕОМ широке розповсюдження набув аналіз в дискретній формі. Особливо відчутні результати застосування ЕОМ при обробці низькочастотних сигналів, в зв’язку з цим представляє інтерес аналіз з використанням систем ортогональних функцій дискретного аргументу.

Використання корелятора з ортогональними фільтрами Лагера в дискретному варіанті більш повно реалізує всі переваги ортогональної фільтрації, а також забезпечує достатню точність при вимірюванні низькочастотних сигналів.

Основна особливість функцій Лагера дискретного аргументу полягає в тому, що вони забезпечують ортогональність не тільки при нульовому зсуві, але і на всій півосі часових зсувів, що у результаті забезпечує некорельованість на всій півосі зсувів, включаючи початок координат, відгуків ортогональних фільтрів Лагера на дію типу білий шум.

При використанні ортогональних фільтрів і ортогональних систем фільтрів Лагера легко здійснюється компенсація амплітудно-частотної і фазовий-частотної характеристик, викликана їх застосуванням.

Фільтри Лагера — це фільтри низьких частот, і всі їх амплітудно-частотні характеристики не залежать від порядку використовуваного полінома Лагера, що також спрощує компенсацію амплітудно-частотної характеристики.

Розглянемо електричну схему фільтра Лагера з RC елементами (рис.2).

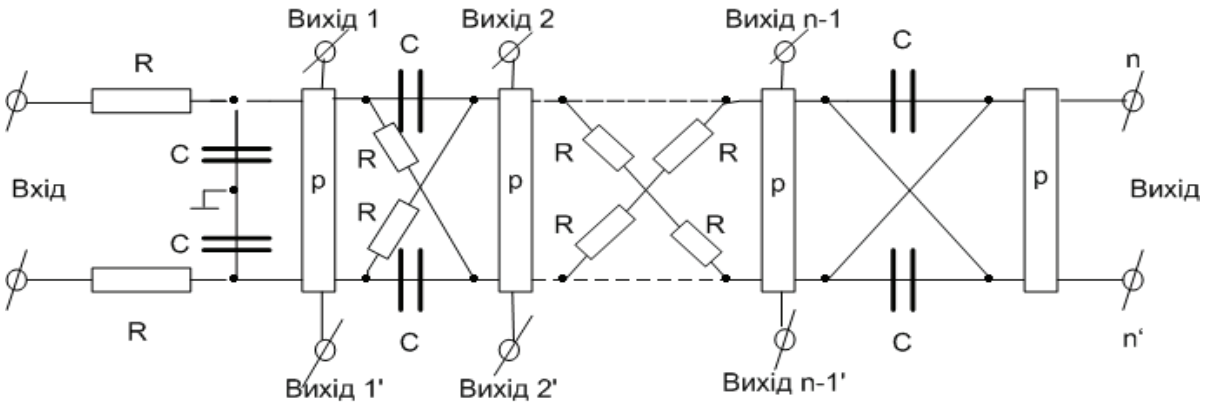


Рис. 2. Електрична схему фільтра Лагера з RC елементами

Комплексна передаточна функція такого фільтра визначається згідно

$$\gamma_n(i\omega) = \frac{[i\omega RC - 1]^{n-1}}{[i\omega RC + 1]^n}.$$

Цьому виразу відповідає наскрізна імпульсна перехідна функція

$$\varphi_n(t) = \alpha L_{n-1}(2\alpha - t)\exp(-\alpha t)1(t) \qquad n = 1,2,3,.. , \qquad \text{де } \alpha = \frac{1}{RC}.$$

Практична реалізація ортогональних фільтрів призводить до найбільш простих схемним рішенням, якщо розглядати фільтри належать до канонічного типу. Отже, з принципової точки зору характеристики цих фільтрів можуть бути відтворені електричною схемою без похибок. У цьому відношенні згадані системи ортогональних фільтрів володіють істотною перевагою в порівнянні з такими широко вживаними ланцюгами, як лінії затримки чи ідеальні частото - виборчі фільтри. Джерело похибок, пов'язаних з втратами, в значній мірі усувається в RC схемах. RC схеми являються кращими, ніж їх LC еквіваленти.

Виявлення сигналів за допомогою коррелометров, що працюють в шумовому полі перешкод, присвячено ряд робіт. Проведено аналіз роботи коррелометра з RC фільтром в одному з каналів при впливі на нього білого шуму, причому передбачається, що відстань між прийомними антенами, підключеними на вхід двох каналів коррелометра, досить велика в порівнянні з половиною довжини хвиль, що обумовлює некорреліpованність шумової перешкоди і нульова напруга на виході коррелометра за відсутності корисного сигналу.

Результати досліджень, показали доцільність застосування ортогональних фільтрів в каналах коррелометра при вирішенні задач виявлення. В умовах впливу корисних сигналів і шумових перешкод передбачається, що впливає на вхід коррелометра електричний сигнал, що надходить з виходу прийомної антени або інших перетворювачів.

Досліджуємо наступні випадки впливу сигналів і перешкод на вхід коррелометра.

1. При дії на вхід коррелометра шумової перешкоди типу білого шуму отримуємо

$$R_{12}(\tau) = \chi_2(\eta(1))\int_{-\infty}^{\infty}\varphi_1(t)\varphi_2(t+\tau)dt .$$

Якщо часовий зсув між відгуками ортогональних фільтрів відсутній і значення $\chi_2(\eta(1))$ звичайно не дорівнює нулю, тоді маємо

$$R_{12}(0) = \chi_2(\eta(1))\int_{-\infty}^{\infty}\varphi_1(t)\varphi_2(t)dt = 0 .$$

Таким чином, отримуємо нульову напругу на виході коррелометра при впливі на нього перешкоди білого шуму.

2.На вхід коррелометра впливає окрашений шум. Під терміном "окрашений шум"мається на увазі лінійний стаціонарний процес з обмеженою або не рівномірною спектральною щільністю.

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_0(t-\tau)\, d\eta(\tau)$$

З даного визначення випливає, що ядро інтегрального уявлення окрашеного шуму не являється дельта-функцією. В іншому випадку окрашений шум перетворюється в білий.

3. На вхід коррелометра надходить адитивна суміш білого і окрашеного шумів. Окрашений шум є лінійним стаціонарним процесом, тоді відгук фільтру записується у вигляді

$$x_i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_i(t-\tau)\, d\eta(\tau) + \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_i(t-\tau)\xi(\tau)\, d\tau\ , \qquad i = 1,2...$$

4. На вхід коррелометра надходить адитивна суміш двох забарвлених шумів. Кожен з них лінійний стаціонарний процес

$$\xi_j(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_j(t-\tau)\, d\eta(\tau)\ , \qquad j = 1,2...$$

Тоді кореляційна функція відгуку фільтрів має вигляд

$$B(\tau) = \sum_{i,j=1}^{2} \int_{-\infty}^{\infty} R_{ij}(\tau - s)\, h_{12}(s)\, ds$$

Вхідний сигнал являє собою суму двох забарвлених шумів з фінітними рівномірними спектральними щільностями і граничними частотами ω_1 та ω_2.

Висновок

Задачі виявлення корисних сигналів при дії завад в кореляційних системах з вхідними ортогональними фільтрами Лагера дають можливість підвищити в більшій мірі співвідношення сигнал-завада. Таким чином наведено короткий огляд використання ортогональних функцій для представлення реальних сигналів, що описуються випадковими і невипадковими функціями, а також характеристик лінійних ланок наочно показує широкий діапазон їх застосувань. Введення додаткових ортогональних фільтрів не дає додаткових похибок при визначенні метрологічних характеристик кореляційних систем. Введення в структуру вхідних ортогональних фільтрів істотно збільшує ефективність кореляційної системи при виявленні сигналів за дії завад.

Список літератури

1. *Марченко Б.Г., Щербак Л.М.* Линейные случайные процессы и их приложения. К.: Наукова думка, 1975. - 143 с.

2. *Куля В.И*. Ортогональные фильтры – К.: «ТЕХНІКА», 1967. – 240 с.

3. *Трахтман А.М.* Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов. М.: Советское радио, 1972. – 352с.

4. *Марченко В.Б.* Ортогональные функции дискретного аргумента и их приложения в геофизике. К.: Наукова думка, 1992.

УДК 620.179

Ю.Г. Безымянный, доктор технических наук
(Национальный авиационный университет, Украина),
А.Н. Колесников, К.А. Комаров, О.В. Талько
(Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Украина)

ОПЫТ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТА ГИДРОСИСТЕМЫ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТОЛЁТА

В работе представлены результаты диагностики состояния дефектного элемента гидросистемы рулевого управления вертолета, который был в эксплуатации более 25 лет. Сделаны предположения о причинах появления дефектов. Показаны возможности использования ультразвуковых методов неразрушающего контроля для выявления указанного дефекта.

Возможность продления лётного ресурса вертолётной техники актуален для Украины. Решение этой проблемы возможно путём исследования дефектов элементов конструкций вертолётов, имеющих продолжительные сроки эксплуатации, выявления причин их возникновения и возможностей своевременного обнаружения и устранения.

В работе представлены результаты ультразвуковой диагностики состояния дефектного элемента гидросистемы рулевого управления вертолета, который был в эксплуатации более 25 лет. Этот элемент представлял собой трубку из сплава АМг2-М диаметром 5 мм с толщиной стенок 1 мм. Отрезок трубы содержал участок с признаками эксплуатационного разрушения в виде протяженной трещины и участка неповрежденной трубки.

Для проведения исследований из имеющегося дефектного элемента гидросистемы рулевого управления вертолета были вырезаны образцы. Схема получения образцов показана на рис. 1. Здесь схематично изображена трещина в направлении образующей трубки. Образец № 1 представлял собой элемент трубки, содержащий продольную трещину. Образец № 2 был вырезан на расстоянии примерно 50 мм от места разрушения. На его боковой внешней поверхности не наблюдалось признаков разрушения. Образец был разделен вдоль образующей на две равные части, одна из которых 2' была отожжена при 300^{o}C x 1 час. Образец № 3 был вырезан на значительном расстоянии от места разрушения.

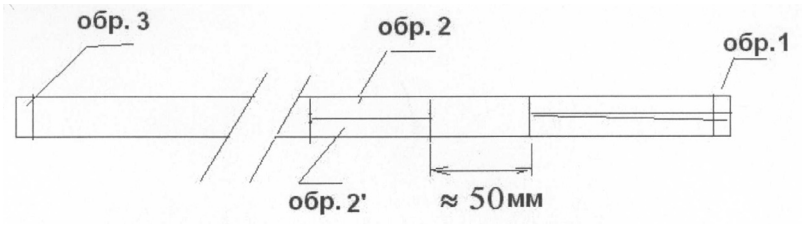


Рис. 1. Схема получения образцов дефектного элемента гидросистемы рулевого управления вертолета

Внешний вид образцов и видимые дефекты разрушения показаны на рис. 2-4. На образце № 1 точками 2-4 показаны места для металлографического и ультразвукового анализа. Под образцами показана шкала линейки в мм. На образце № 2 стрелками отмечены места, содержащие царапины и, возможно, коррозию.

Метод ультразвуковой диагностики использовался как дополнительный для подтверждения результатов металлографического анализа и изучения возможности проводить неразрушающую диагностику дефектных элементов гидросистемы рулевого управления вертолета.

При анализе полученного элемента гидросистемы рулевого управления вертолета было отмечено, что имеющиеся в нём дефекты являются типичными дефектами, возникающими в трубах в процессе прокатки и эксплуатации, а именно, трещины, риски, закаты и другие, ориентированные вдоль оси труб продольные дефекты. Для диагностики таких дефектов, как правило, применяют эхо-метод с использованием поперечных и продольных ультразвуковых волн. [1]

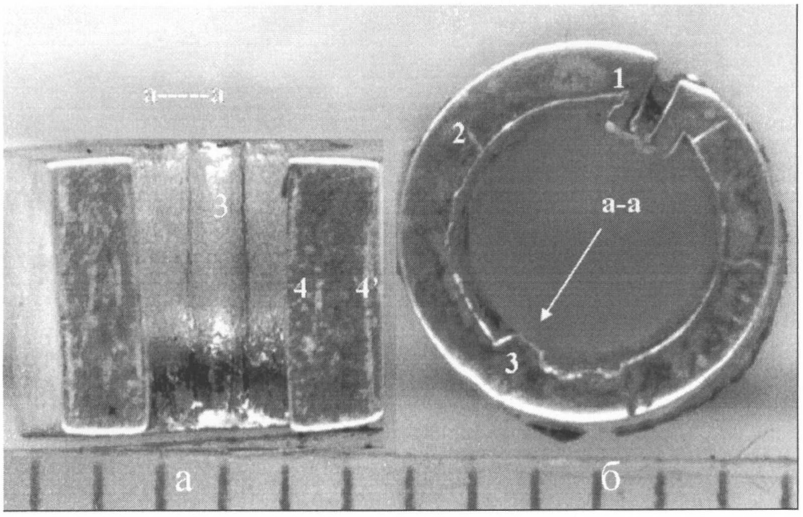


Рис. 2. Образец № 1: а – сечение вдоль оси образца трубки, содержащее трещину; б – поперечное сечение образца

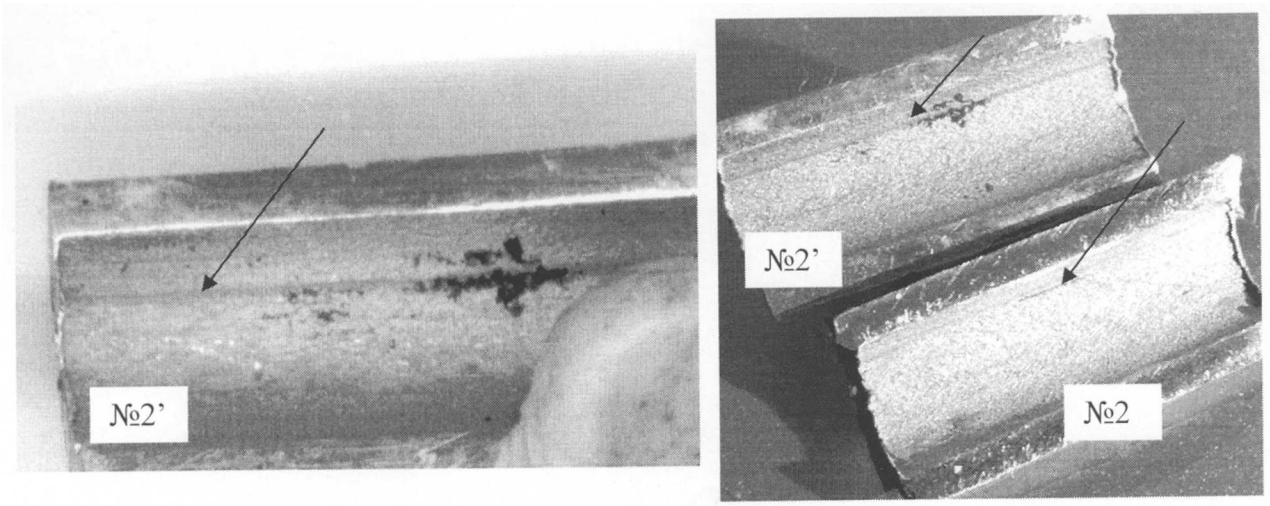


Рис. 3. Образец № 2

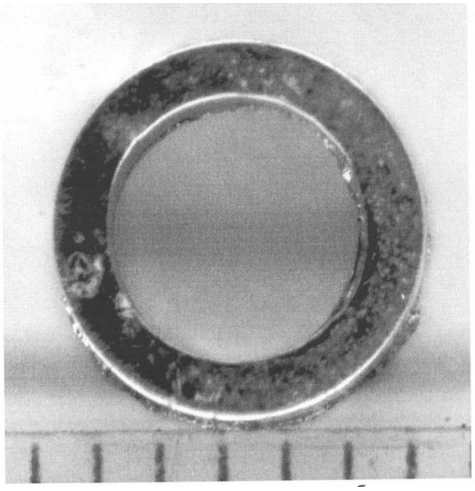


Рис. 4. Образец № 3

Особенностями объекта исследований, затрудняющими использование традиционных ультразвуковых методов, являются малый диаметр трубки и высокое затухание упругой волны в её материале. Поэтому задача состояла в нахождении наиболее чувствительного метода к наличию подобного рода дефектов и выбора эффективных информативных параметров для выявления дефектов таких объектов.

Для правильного построения ультразвуковых исследований проводился визуальный осмотр образцов с помощью микроскопа МБС-10. При визуальном осмотре установлено, что: в образце № 1 в зоне разрушения на внутренней поверхности трубки имеются противолежащие друг другу "швы", совпадающие с направлением разрыва трубки (рис. 2 а, б), а на неповрежденном участке трубки внутренняя ее поверхность слабошероховатая и не имеет отклонений от цилиндрической формы (рис. 4).

Отработка различных методов и схем прозвучивания с оптимизацией их параметров проводилась на аппаратном комплексе для прецизионных измерений параметров упругих волн, разработанном в Институте проблем материаловедения НАНУ [2]. В результате был выбран метод сквозного прозвучивания образцов датчиками с конусными концентраторами и точечным контактом при использовании зондирующего сигнала в виде периодического радиоимпульса с частотой заполнения 1,25 МГц (рис. 5). Это позволило существенно повысить уровень принимаемого сигнала за счёт эффективности возбуждения преобразователя, использования поверхностных волн и уменьшения зоны прозвучивания, а также повысить чувствительность диагностических параметров к дефекту за счёт локализации озвучиваемого объёма материала. Прозвучивание проводилось с шагом 5 мм в повреждённых и неповреждённых зонах образцов.

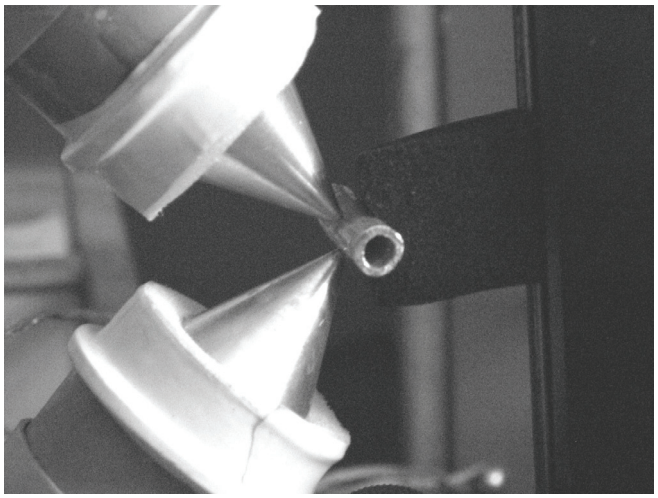
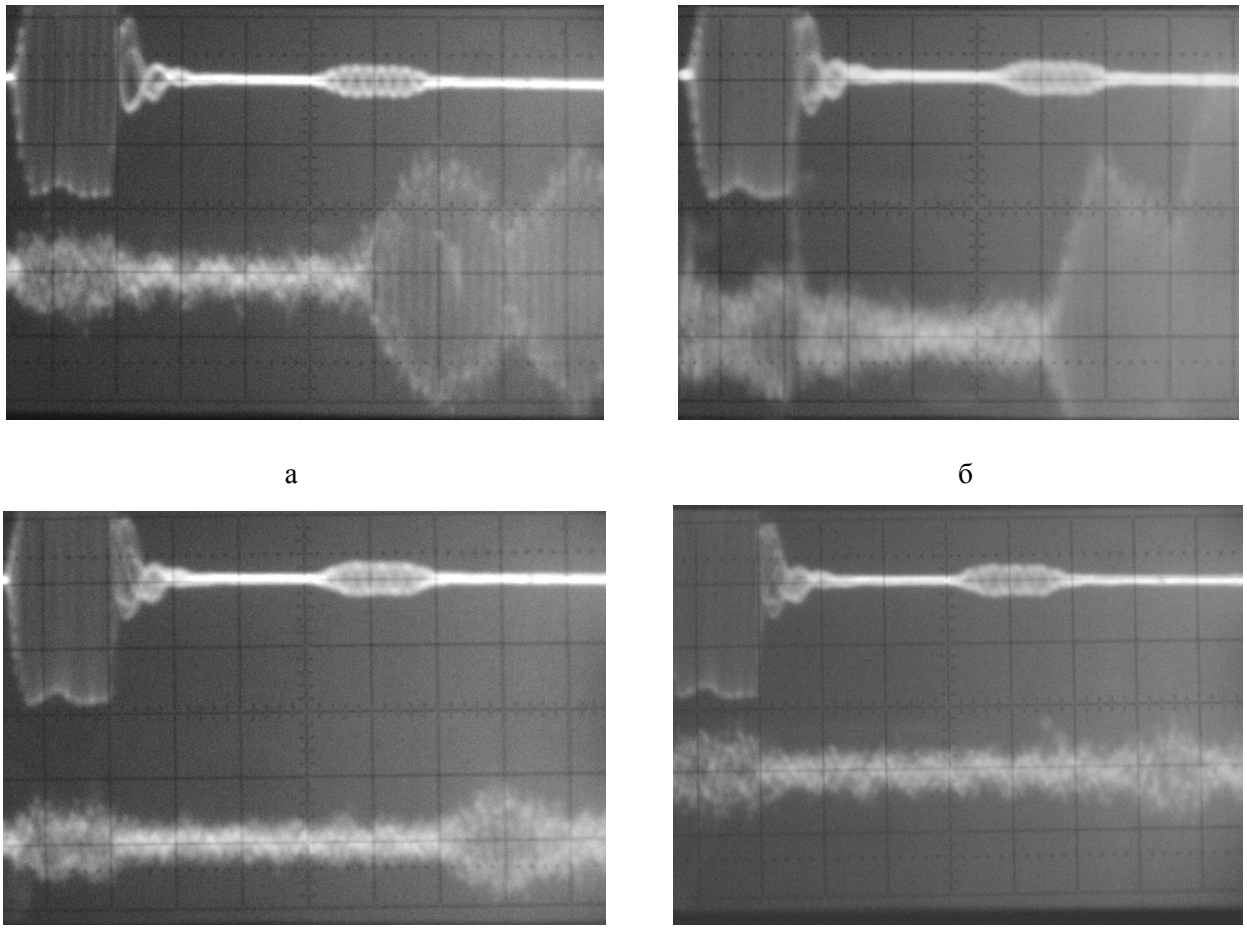


Рис.5. Схема прозвучивания образца

Примеры результатов прозвучивания показаны на рис. 6. Анализ полученных осциллограмм показывает, что в зоне «швов» амплитуда принимаемых ультразвуковых импульсов уменьшается в 4-6 раз по сравнению с неповрежденной частью образцов. Разброс уровней сигналов и фазовых соотношений обусловлен неидеальностью формы объекта (изменением кривизны и шероховатости поверхности в зоне контроля). Время прохождения ультразвуковых импульсов через «швы» увеличивается по сравнению со временем на бездефектных участках до 25%. Таким образом, оба указанных параметра имеют высокую чувствительность к наличию дефекта в виде продольной трещины в образцах трубок малых диаметра и толщины стенки, изготовленных из сплава АМг2-М и могут быть рекомендованы как диагностические при контроле дефектности трубчатого элемента гидросистемы рулевого управления вертолета.

Следует отметить, что в процессе решения рассматриваемой задачи не были исследованы возможности некоторых других перспективных решений, например методов,

основанных на более тонком анализе полученных сигналов, или методов, использующих для обеспечения акустического контакта локальные иммерсионные ванны.



а б в г

Рис.6. Осциллограммы излученных (сверху) и принятых (снизу) ультразвуковых импульсов на неповрежденных (а, б) и поврежденных (в, г) участках трубки.

Выводы

Оптимизация схемы прозвучивания, типа упругой волны и зондирующего сигнала позволила показать, что ультразвуковые методы могут быть эффективно использованы для выявления продольных трещин при контроле дефектности трубчатого элемента гидросистемы рулевого управления вертолета. Полученный результат может быть положен в основу создания автоматизированного метода контроля указанного элемента конструкции. Развитие предложенного метода может быть так же связано с исследованием возможности контроля зон разрыхления материала в местах вблизи трещины.

Список литературы

1. *Неразрушающий контроль*: Справочник: В 8 т. / Под ред. В.В.Клюева. Т.3 И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.

2. *Безымянный Ю.Г.* Возможности акустических методов при контроле структуры и физико-механических свойств пористых материалов // Порошковая металлургия. – 2001. – № 5-6. – С. 23-33.

УДК 389.14:621.391

Є.А. Реуцький, А.А. Саврадон, Т.О. Самчук
(Національний авіаційний університет, Україна)

ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ І КОМП'ЮТЕРНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

Розглянуто задачі випробувань технічних систем, проведено їх аналіз на етапах життєвого циклу, розроблено умовну модель життєвого циклу технічної системи з використанням комп'ютерного вимірювального експерименту між етапами виготовлення та експлуатації, обґрунтовано її ефективність.

Вступ

Термін «життєвий цикл», який природно характеризує біологічні об'єкти та системи, використовується і для технічних систем. Це один з напрямів дослідження теорії сигналів і систем. Традиційно виділяють наступні етапи життєвого циклу технічної системи [1,4,6-8]: обґрунтування необхідності створення системи, розробка завдання, моделювання та проектування, виготовлення, що передбачає дослідне та серійне виробництво зразків системи, експлуатація, утилізація. Розвиток сучасних інформаційних технологій при створенні технічних систем у певній мірі не порушує логічної послідовності етапів створення системи, доповнює і суттєво розвиває їх зміст.

В загальному життєвому циклі технічних систем випробуванням відводиться особлива роль. Правильний вибір об'ємів і тривалості проведення випробувань, а особливо пошук шляхів їх скорочення, має важливе практичне значення і являється одним з напрямів підвищення економічної ефективності робіт на етапах життєвого циклу технічних систем, так як у процесі проведення випробувань вирішується низка питань таких, як підтвердження принципів функціонування систем, сумісність роботи їх елементів, перевірка розрахункових моделей, що використовуються при проектуванні, оцінка показників надійності та ін.

Задачам, які виникають при проведенні випробувань на етапах життєвого циклу з метою забезпечення їх вдосконалення, єдності, ефективності та ін. присвячено ряд вітчизняних та зарубіжних робіт, у тому числі в нормативних документах [1-8]. У зазначених працях викладено загальні концептуальні основи випробувань, теоретичні основи їх проведення, моделі життєвого циклу технічних систем, але дані розробки не можуть врахувати дію випадкових факторів, що існують в робочих умовах експлуатації, частина яких хоч і є передбаченою, наприклад, у вигляді допустимих границь випадкових похибок.

Тому актуальними та перспективними є задачі узгодження випробування до і під час експлуатації, в результаті розв'язання яких можна буде вдосконалити методики контрольних випробувань і підвищити надійність технічних систем, збільшити тривалість їх життєвого циклу за рахунок вдосконалення метрологічного забезпечення технічних систем шляхом розробки нових принципів і підходів до його організації. Одним із способів розв'язання таких задач є введення додаткового етапу моделювання перед випуском технічної системи в експлуатацію шляхом застосування комп'ютерного вимірювального експерименту.

Постановка завдання

Розглянути застосування комп'ютерного вимірювального експерименту в моделі життєвого циклу технічної системи з метою покращення метрологічного забезпечення випробувань, які проводяться над системою.

Розв'язання завдання

Випробування системи слід розглядати як важливу ланку запланованої програми робіт по забезпеченню надійності технічної системи на етапах її життєвого циклу. Програма випробувань передбачає перевірку всіх теоретичних розрахунків, що стосуються як характеристик і параметрів самої системи, так і її надійності. Випробування являються основним джерелом даних від початку створення системи і на протязі всього терміну її служби, є основою для внесення змін у конструкцію, процеси та експлуатацію, а також для технічного обслуговування системи в реальних умовах експлуатації.

При проведенні випробувань технічних систем у ході їх експлуатації отримують важливу інформацію, яка надходить до розробників і на серійне виробництво, де вона використовується для створення нових і модернізації існуючих елементів технічних систем з метою підвищення їх надійності та покращення експлуатаційних характеристик. Основна задача аналізу результатів етапу експлуатації полягає у досягненні мети створення більш

точної технічної системи, що забезпечується підтримкою її параметрів на рівні, що визначається сучасними вимогами та технічними параметрами. Процес управління надійністю технічної системи, у тому числі організації випробувань, розповсюджується на всі етапи її життєвого циклу.

У багатьох наукових дослідженнях проведення натурних експериментів неможливо з цілого ряду причин (наприклад, коли проведення натурного експерименту є дорогим і складним в реалізації), тоді слід застосовувати процес моделювання. Це дозволить накопичувати результати, отримані при дослідженні різного типу задач, пов'язаних із системою.

Розглянемо більш детально побудовану умовну модель життєвого циклу технічної системи (рис. 1). Новизною даної моделі є використання в ній бази знань системи, яка формується за результатами проведення випробувань на етапах життєвого циклу, та включення комп'ютерного вимірювального експерименту. Отримані таким способом знання використовуються в подальших розробках нових технічних систем даного типу.

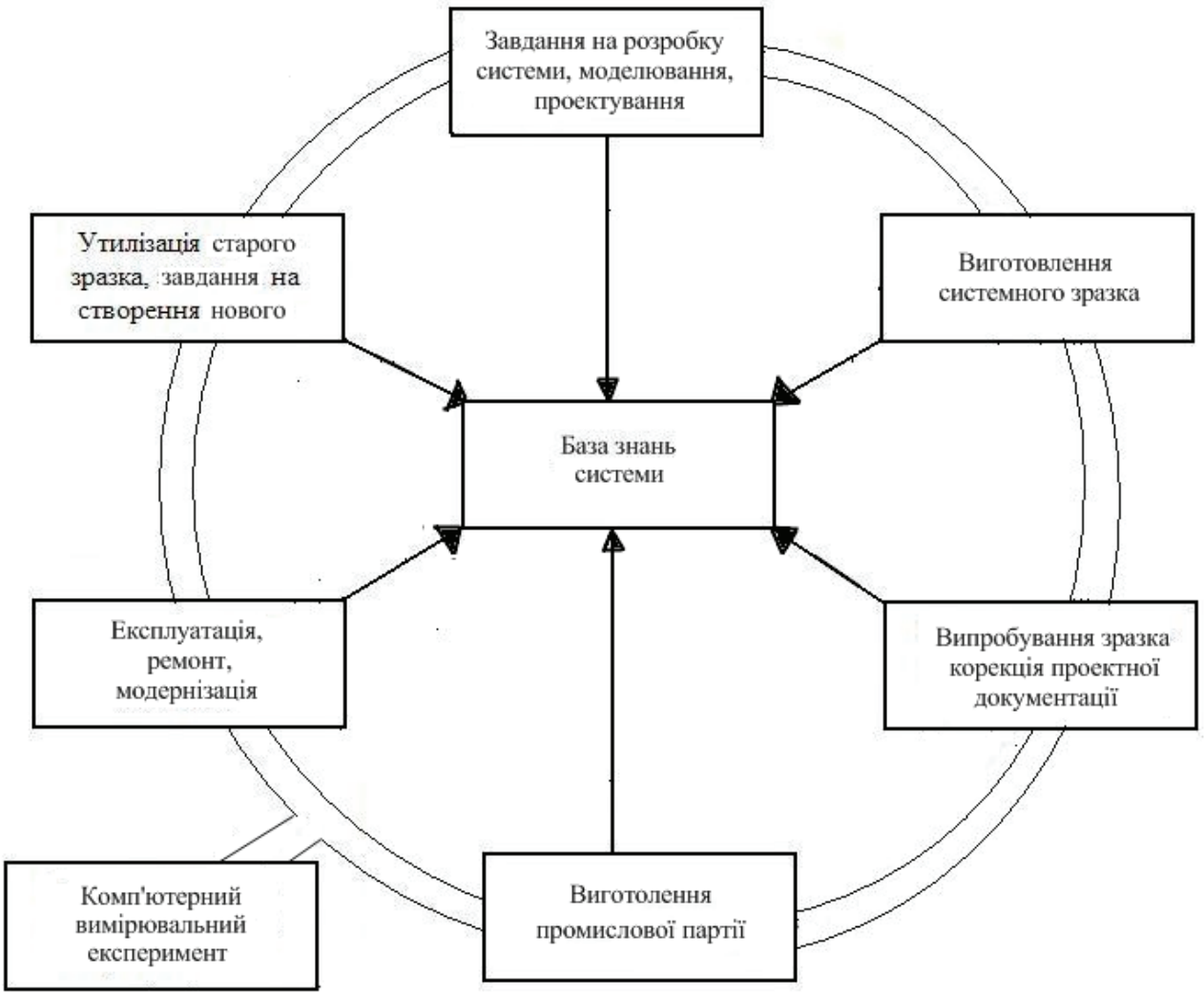


Рис. 1. Умовна модель життєвого циклу технічної системи

Обчислювальні методи та комп'ютерне моделювання технічної системи дають можливість визначати різноманітні характеристики процесів, оптимізувати конструкцію чи режими функціонування проектованої системи.

На рис. 2 наведена адаптована схема процесу випробувань над системою за допомогою її моделі [7] відповідно до поставленої задачі в даній роботі.

Рис. 2. Схематична ілюстрація процесу комп’ютерного вимірювального експерименту

Зупинимось на послідовності етапів, з яких складається комп'ютерного вимірювального експерименту

1. *Побудова опису технічної системи.* На даному етапі вноситься вся апріорна інформація про технічну систему; визначаються незалежні параметри, необхідні для побудови моделі та розрахунків (ці параметри повинні описувати режими роботи технічної системи та процеси, які відбуваються ній при зовнішньому впливі).

2. *Побудова моделі технічної системи* на основі знаходження її модульної структури. Кожний модуль описується функціональним рівнянням, а взаємодія між модулями – відповідними параметрами.

3. *Відпрацювання моделі* передбачає програмування математичної моделі технічної системи, що реалізує обчислювальний алгоритм.

4. *Експеримент на моделі* реалізується за допомогою імітаційного моделювання шляхом відповідних розрахунків на комп'ютері.

5. *Перевірка адекватності моделі* передбачає накопичення результатів експерименту та їх обробку з порівняльним аналізом точності отриманих результатів моделювання з результатами лабораторного експерименту.

6. *Використання результатів експерименту* необхідне в подальшому при розробці технічної системи для вдосконалення її структури та функціонування, оптимізації випробувань та контролю.

Зазвичай на останньому етапі дослідник робить висновки, чи потрібно вносити зміни в рішення, прийняті на перших етапах. Також може виникнути ситуація, що побудована модель системи недостатньо відображає властивості самої системи, в такому випадку модель коректується, вносяться поправки в чисельні методи, програмне забезпечення та проводиться новий розрахунок.

Висновки

В даній роботі було розглянуто застосування комп'ютерного вимірювального експерименту в моделі життєвого циклу технічної системи, обґрунтовано доцільність його застосування та переваги, які отримують при цьому. Проаналізувавши випробування, які проводяться на кожному з етапів життєвого циклу технічної системи, можна створити їх якісне метрологічне забезпечення, яке ґрунтується на узгодження результатів експлуатаційних випробувань з контрольними випробуваннями перед експлуатацією на етапі виготовлення. Це є необхідним, так як по результатам експлуатаційних випробувань отримують інформацію про значення метрологічних характеристик технічної системи в робочих умовах застосування, яку варто враховувати при розробці нових технічних систем на початкових етапах життєвого циклу.

Список літератури

1. *Азарсков В.М., Сущенко О.А.* Експериментальні випробування та дослідження систем: Підручник. – К.: НАУ, 2003. – 268 с.

2. ГОСТ 16504:81. Система государственных испытаний. Испытания и контроль качества продукции. Введ. с 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 32 с.

3. ДСТУ 3021:95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. Чинний з 01.01.96 р. – К.: Держстандарт України, 1996. – 71 с.

4. *Кошевая Л.А.* Обеспечение единства испытаний: Монография. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 178 с.

5. *Реуцький Є.А.* Методологія створення метрологічного забезпечення вимірювальних пристроїв // Матеріали наук.-техн. конференції студентів та молодих вчених «Наукоємні технології». – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2010. – с.18.

6. *Самарский А.А.* Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. – М.: Наука, 1988. – 176 с.

7. *Самарский А.А.*Математическое моделирование и вычислительный эксперимент // Вестник АН СССР. – 1979. – №5. – с. 38-49.

8. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем: учебн. пособие/Л.Н.Александровская, В.И.Круглов, А.Г.Кузнецов и др. – М.: Логос, 2003. – 736 с.

УДК 621

Ю.В. Куц, д.т.н., проф., Н.Б. Марченко, к.т.н., Л.М. Щербак, д.т.н., проф.
(Національний авіаційний університет, Україна)

АЛГОРИТМ ВІКОННОЇ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ

Розглядається проблема обчислення спектру сигналу при спостереженні на обмеженому часовому відрізку з використанням . дискретного перетворення Фурье. Показано, що обмеження часу аналізу рівносильно використанню прямокутної віконної функції, частотна характеристика якої має максимальні бічні пелюстки.

Вступ

В основі цифрового спектрального аналізу лежить апарат дискретного перетворення Фурье (ДПФ) [2]. При цьому ДПФ має високоефективне швидке перетворення Фурье (ШПФ). Проте при використанні ДПФ часто виникають труднощі обумовлені скінченністю інтервалу обробки [1], в той час як цифровий сигнал може бути нескінченний по часу. В цьому розділі розглянемо випадки, що виникають при обмеженні інтервалу аналізу.

Нехай цифровий сигнал $s_0(t)$нескінченний по часу. В найпростішому випадку можна задати цей сигнал як гармонійне коливання з частотою ω_0. Перетворенням Фурье цього сигналу буде дельта-імпульс на частоті сигналу, тобто $S_0(\omega)=\delta(\omega-\omega_0)$ (рис.1).

На практиці неможливо провести розрахунок спектру шляхом чисельного інтегрування по всій часовій вісі. За виключенням випадку коли можна отримати аналітичний вираз для спектру сигналу. Зафіксуємо інтервал часу T на якому розраховуватимемо спектр сигналу. Таким чином отримаємо цифровий сигнал $s(t)$, який співпадає з початковим на інтервалі часу T, але поза зоною інтервалу спостереження вважаємо, що $s(t)=0$. Цифровий сигнал $s(t)$ можна представити як добуток вихідного нескінченного сигналу $s_0(t)$ і прямокутного імпульсу $w(t)$ тривалістю T, $s(t)=s_0(t)\cdot w(t)$.

Спектр сигналу $s(t)$, згідно властивостям перетворення Фурье буде рівний згортці спектрів вихідного сигналу і спектру $W(\omega)$ прямокутного імпульсу $w(t)$ [4]:

$$S(\omega)=S_0(\omega)*W(\omega)=\delta(\omega-\omega_0)*W(\omega)=W(\omega-\omega_0) \qquad (1)$$

В (1) була використана фільтруюча властивість дельта-функції. Сигнал $s(t)$ і його спектр $S(\omega)$ показані на рис.1.

Таким чином, замість дельта-імпульсу спектр $S(\omega)$ перетворився на функцію типу $\sin(x)/x$ (спектр прямокутного імпульсу функції $w(t)$) причому ширина пелюстка залежить від тривалості інтервалу аналізу, як це показано на рис. 2.

Якщо збільшувати інтервал аналізу T до нескінченості, то спектр звужуватиметься і прямуватиме до дельта-імпульсу. Прямокутний імпульс $w(t)$ називається віконною функцією. Розглянемо випадок ДПФ. ДПФ ставить у відповідність N відлікам сигналу $s(n)$, $n=0\ldots N-1$, N відліків спектру, узятих на одному періоді спектру: $S(k)$, $k=0\ldots N-1$ [3]. Відліки сигналу узяті через рівні проміжки часу $\Delta t=2\pi/\omega_\partial$ де ω_∂ – частота дискретизації (рад/с).

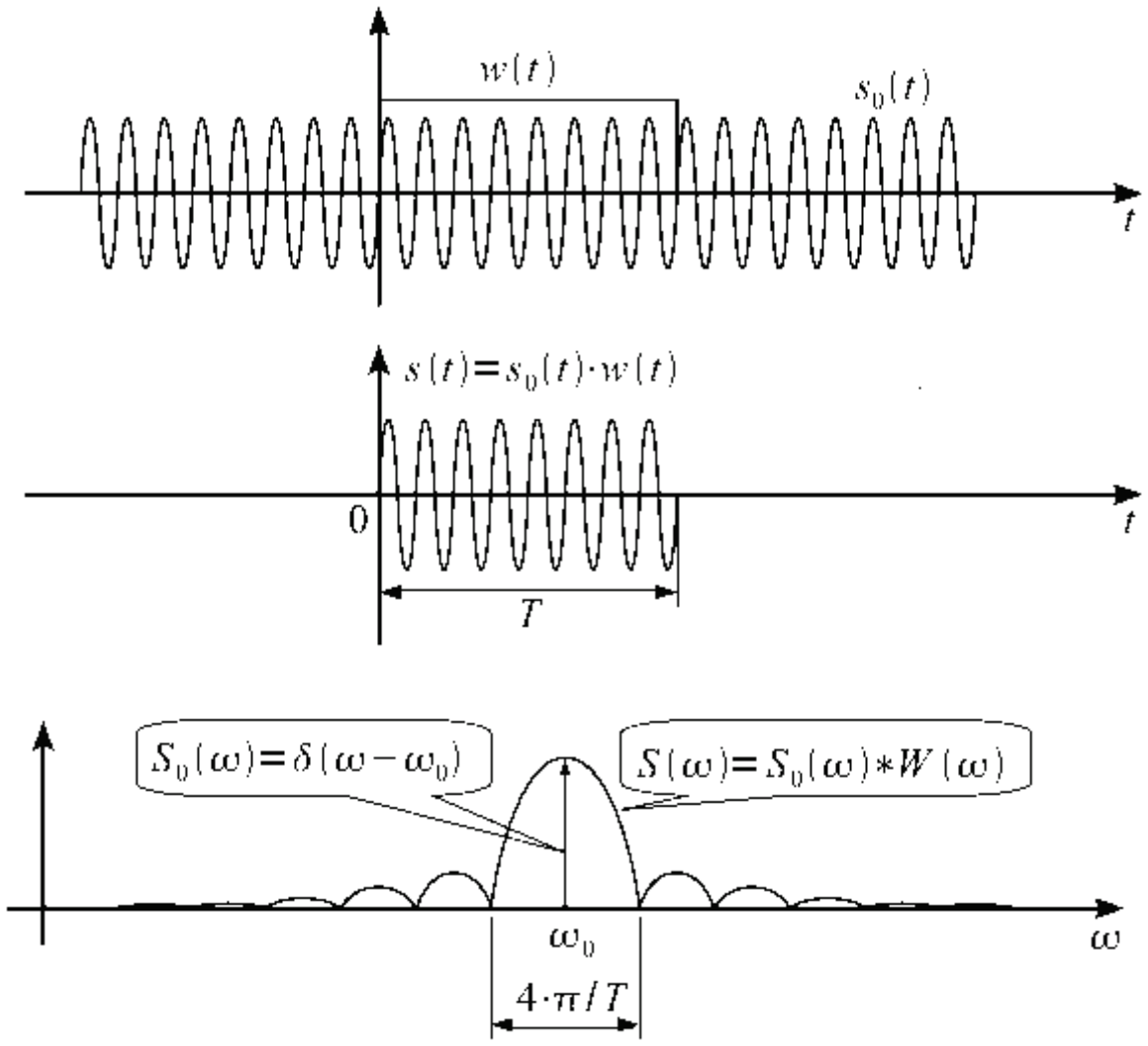


Рис. 1. Спектр обмеженого по часу сигналу

Таким чином інтервал аналізу $T = N \cdot \Delta t = N \cdot 2\pi/\omega_\partial$, тоді спектральні відліки беруться через інтервал $\Delta\omega = 2\pi/T$. Ширина головного пелюстка спектру $S(\omega)$ (рис. 1) дорівнює $4\pi/T$, тоді можна розглянути два випадки.

Перший випадок частота сигналу співпадає з k -ою частотою спектру $\omega_0 = \omega(k)$. При дискретизації отримаємо відлік на частоті $\omega_0 = \omega(k)$ по амплітуді, що відповідає амплітуді сигналу, решта спектральних відліків буде рівна нулю, бо моменти дискретизації спектру співпадуть з нулями спектру віконної функції.

Другий випадок коли частота ω_0 не співпадає ні з однією частотою із сітки спектральних відліків. В цьому випадку спектр сигналу «розмивається». Замість одного спектрального відліку отримуємо безліч відліків, оскільки дискретизація проводиться вже не в нулях спектру функції вікна, і всі бічні пелюстки проявляються в спектрі. Крім того амплітуда спектральних відліків також зменшується.

У випадку гладкої віконної функції в спектрі не спостерігається бічних пелюсток (або їх рівень істотно знижується), проте має місце розширення основної пелюстки спектру в порівнянні з прямокутним вікном $\Omega > 4\pi/T$.

Необхідно відзначити, що чим більше пригнічення бічних пелюсток спектру віконної функції, тим ширше виходить основна пелюстка. Це протиріччя призвело до розробки

великої кількості віконних функцій із різним пригнічення бічних пелюсток і різної шириною головної пелюстки.

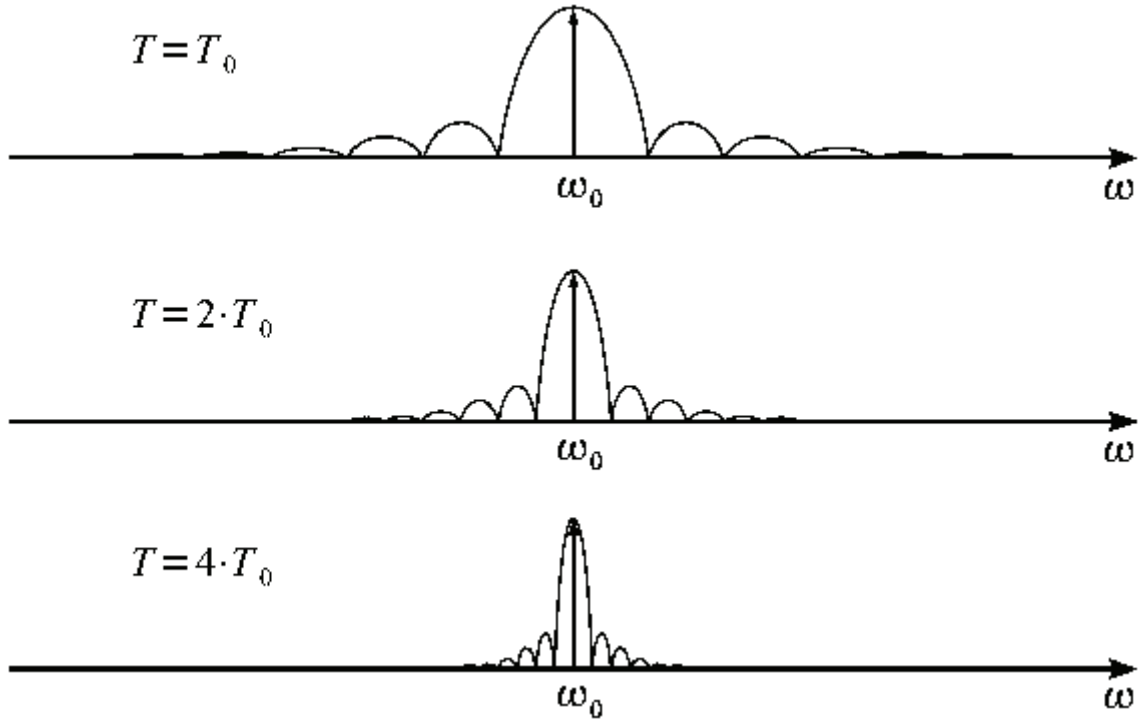


Рис.2. Зміна спектру при збільшенні інтервалу аналізу

Розглянемо ще одну властивість віконної функції, а саме коефіцієнт послаблення β. Нехай A_w – постійна складова віконної функції на інтервалі T [4]:

$$A_w = \frac{1}{T}\int_0^T w(t)dt\,. \tag{2}$$

У випадку прямокутного вікна

$$A_{rect} = \frac{1}{T}\int_0^T w(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T dt = 1\,. \tag{3}$$

Коефіцієнтом послаблення β називають відношення постійної складової A_w заданої функції вікна, до постійної складової прямокутного вікна A_{rect}:

$$\beta = \frac{A_w}{A_{rect}} = \frac{1}{T}\int_0^T w(t)dt \tag{4}$$

Сенс коефіцієнта послаблення полягає в тому, що амплітуди всіх спектральних складових після множення на віконну функцію зменшуються в β разів у порівнянні з прямокутним вікном. Коефіцієнт послаблення виражають в логарифмічній шкалі:

$$\beta = 20 \cdot \lg \beta \ \text{дБ} \tag{5}$$

У випадку цифрового спектрального аналізу маємо N відліків віконної функції $w(n)$ $n = 0 \ldots N-1$, взятих через проміжок Δt. Тоді $T = N \cdot \Delta t$ інтеграл в (4) замінюється сумою:

$$\beta = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} w(n). \qquad (8)$$

Для того, щоб врахувати коефіцієнт послаблення після ДПФ необхідно кожний спектральний відлік поділити на β.

Узагальнимо основні частотні характеристики спектру віконної функції, що дозволяють порівнювати різні вікна між собою. Для цього розглянемо нормовану амплітудно-частотну характеристику $W_H(F_H)$ віконної функції [2].

Нормування амплітуди проводиться для урахування коефіцієнта послаблення β: $W_H(\omega) = W(\omega)/\beta$. Таким чином всі амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) матимуть максимум рівний одиниці (0 дБ) на нульовій частоті. Оскільки ширина головної пелюстки залежить від тривалості вікна в часі (рис. 2), то вводиться нормування частоти:

$$F_H = \frac{\omega}{2\pi/T} = \frac{\omega \cdot T}{2 \cdot \pi}. \qquad (7)$$

Таким чином, форма нормованої АЧХ віконної функції не мінятиметься при зміні тривалості вікна.

Для якісного спектрального аналізу необхідно. правильно вибрати віконну функцію виходячи з динамічного діапазону сигналу, так щоб рівень бічних пелюсток спектру віконної функції був менше динамічного діапазону сигналу.

При спектральному аналізі сигналу з відомим або заданим динамічним діапазоном необхідно вибирати таку віконну функцію, рівень бічних пелюсток спектру якої менше заданого динамічного діапазону. Інакше деякі гармоніки сигналу можуть бути не виявлені. Так, наприклад, якщо динамічний діапазон сигналу не перевищує 40 дБ доцільно використовувати вікно Хеммінга, бічні пелюстки спектру якої не перевищують -42 дБ. Якщо ж динамічний діапазон сигналу не перевищує 60 дБ, то можна використовувати вікно Блекмана (рівень бічних пелюсток спектру -58 дБ).

Висновки

Було розглянуто питання обчислення спектру сигналу при спостереженні на обмеженому часовому відрізку.

Показано, що обмеження часу аналізу рівносильно використанню прямокутної віконної функції, частотна характеристика якої має максимальні бічні пелюстки.

Описаний механізм зниження рівня бічних пелюсток шляхом згладжування за допомогою віконних функцій.

Список літератури

1. *Куц Ю.В., Щербак Л.М.* Статистична фазометрія. Наукова монографія. – Тернопіль: ВЦ Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, 2009. – 383с.

2. *Марченко В.Б.* Ортогональные функции дискретного аргумента и их приложение в геофизике. – Киев: Наукова думка, 1992. – 212с.

3. *Игнатов В.А.* Теория информации и передачи сигналов. - М.: Советское радио, 1979.

4. Lanczos C. Discourse on Fourier Series. – New York: Hafner Publishing Co., 1966. Ch. 1. – pp. 29-30.

УДК 621.316

В.П. Квасніков, докт. техн. наук,
О.В. Бойченко, канд. техн. наук
(Національний авіаційний університет, Україна)

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ УХВАЛЕННЯ РІШЕННЯ В ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ

Наведено аналітичний огляд вирішення завдання оптимального управління інформаційних систем із застосуванням комп'ютерних систем підтримки ухвалення рішення. Визначені проблеми функціонування комплексу інформаційної підтримки в комп'ютерних системах управління спеціального призначення. Запропоновано застосування технології багатовимірного аналізу даних для вирішення завдань оптимального управління в інформаційних системах спеціального призначення.

Метою розробки та впровадження комп'ютерних систем підтримки ухвалення рішення (далі – КСПУР) сучасних інформаційних систем є забезпечення методичної та інформаційної підтримки ухвалення рішень з ключових виробничих питань керівництвом підприємства на основі оперативного статистичного аналізу та прогнозу показників виробничої діяльності.

Разом з класичним напрямом застосування (вирішення завдань визначення та аналізу тенденцій, вимір ключових співвідношень показників і стеження за ними, аналіз конкурентоспроможності системи, вибір альтернативних варіантів розвитку ситуації в виробничому процесі), КСПУР використовують для вирішення неформалізованих (погано структурованих) завдань.

Це завдання, що не можуть бути задані в числовій формі, цілі не можуть бути визначені в термінах точно визначеною цільовою функцією, не існує алгоритмічного вирішення завдань, або ж алгоритмічне рішення існує, але його не можна використовувати з причини обмеженості часових ресурсів та ресурсів оперативної пам'яті.

Важливим моментом є те, що помилковість, неоднозначність, неповнота та суперечність вихідних даних і знань про проблемній області та вирішуваному завданню, велика розмірeність простору рішень (вельми великий перебір при пошуку рішень), а також наявність великої кількості динамічно змінюваних даних і знань призводить до суттєвого зниження ефективності функціонування інформаційної системи в цілому.

Тому в такому випадку доцільно застосовувати специфічні методи математичної підтримки ухвалення рішень на основі фундаментальних положень теорії оптимального управління, метою якої є розробка методу вибору параметрів управління, при якому досягається оптимум деякого функціоналу (мінімум часу, мінімальні витрати, максимальні прибутки та ін.) [1].

Слід зазначити, що завдання такого типу виникають не тільки при вивченні сучасної технології, де окремі процеси дуже складні та детально розроблені, але й при дослідженні питань, пов'язаних з процесами виробництва (проблеми зростання виробничих показників, виробниче планування, аналіз виробничих ресурсів, управління ресурсами підприємства та ін.).

Як відомо з практики, в загальному випадку величини параметрів управління неможливо вибирати довільно, а тільки відповідно деякому обмеженню

$$u(t) \in U \qquad \text{при всіх } t, \tag{1}$$

де підмножина $U \subset R^m$ є областю управління.

Якщо розглядати автономну задачу оптимального управління з незакріпленим часом

$$x(0) = \theta, x(T) = x^T, \tag{2}$$

у якій необхідно мінімізувати функціонал $\int_0^T \phi_o(x(t), u(t))dt$ шляхом вибору вектора дозволеного управління

$$u(t), \text{ при чому } u(t) \in U \subseteq R^m \tag{3}$$

Для ефективного та стислого формулювання необхідних умов оптимальності вектору параметрів управління, слід розглядати сполучену систему лінійних диференційних рівнянь першого порядку для додаткових змінних $p_1, p_2, ..., p_n$

$$p_i' = -\sum_{j=0}^{n} \frac{\partial \phi_j}{\partial x_i}(x(t), u(t)p_j, i = 1,2,..., n \tag{4}$$

Та гамільтоніан задачі оптимального управління

$$H(p, x, u) = p_0\phi_0(x, u) + \sum_{j=1}^{n} p_j\phi_j(x, u). \tag{5}$$

Використовуючи ці змінні, можна сформулювати необхідні умови оптимальності, відомі як принцип максимуму Портнягіна [2-6], який полягає в наступному.

Щоб вектор параметрів управління u та відповідна траєкторія x, яка описується формулою (2), були оптимальними, необхідно існування рішень $p = (p_1(t), p_2(t), ..., p_n(t)$ сполученої системи (4) та константа $p_0 \leq 0$, такі, що $p_0, p_1(t), p_2(t), ..., p_n(t) \neq 0$ та

$$H(p(t), x(t), v) \leq H(p(t), x(t), u(t)) = 0 \tag{6}$$

для всіх векторів $v \in U$ в «кожній точці» $x(t)$ оптимальної траєкторії x, де $u(t)$ - вектор параметрів управління.

При цьому формулювання в «кожній точці» треба розуміти наступним чином: якщо функція u кусочно-безперервна, то умова (6) повинно бути справедливим майже всюди. У першому випадку функція p безперервна та має кусочно-безперервні похідні, які потерпають розрив (хоча б за однією з компонентів) там, де порушується умова безперервності u. В другому випадку p абсолютно безперервна (та майже усюди диференційована).

Архітектурно КСПУР є надбудовою над оперативними інформаційними системами, використовуваними на підприємстві, їх роль та місце в системі інформаційного забезпечення планово-виробничої діяльності підприємства подано на рис 1.

Рис. 1. Основні компоненти КСПУР

Аналізуючи процес ухвалення ділового рішення (рис. 2), слід зазначити, що для ліквідації розривів між етапом висунення гіпотез і на етапом експериментальної верифікації моделей доцільно застосовувати технологію багатовимірного аналізу даних (On-Line Analytical Processing - OLAP).

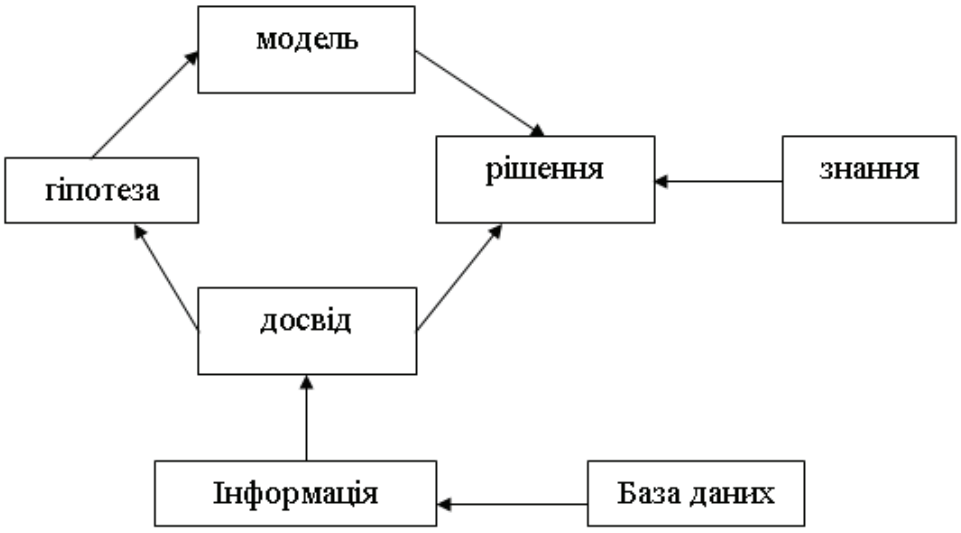


Рис. Ітераційний процес ухвалення рішення

Цінність технології багатовимірного аналізу даних для адекватності прийняття управлінських рішень в комп'ютерних системах управління визначається тим, що вона дозволяє витягувати з «сирих» структурованих (як правило, у вигляді таблиць) даних інформацію та знання, використання яких в прийнятті та реалізації рішень дозволяє підвищувати ефективність функціонування системи інформаційної підтримки підприємства.

Висновки

Таким чином, застосування методів математичної підтримки ухвалення рішень на основі фундаментальних положень теорії оптимального управління, а також технології багатовимірного аналізу даних дозволяє оптимізувати процеси прийняття управлінських рішень в комп'ютерних ін форм акційних системах спеціального призначення.

З практичної точки зору зазначене дозволяє забезпечити:

- ефективний доступ до баз даних внутрішніх і зовнішніх джерел інформації,;
- управління даними та інформацією в різнорідних (багатоплатформних) комплексах;
- зберігання даних і інформації в уніфікованих форматах, придатних для подальшого аналізу, синтезу та обробки;
- аналіз і синтез інформації, моделювання станів, процесів і умов;
- представлення інформації у вигляді діаграм, графіків і географічних карт у формі, інтуїтивно зрозумілій та зручній керівництву для прийняття рішень.

Список літератури

1. *Бойченко О.В.* Оптимізація роботи інформаційно-телекомунікаційних систем спеціального призначення / *О.В.Бойченко* // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Міжнародний науково-технічний журнал. – Хмельницький Технологічний університет Поділля, 2010. - №1. – С. 100-103.

2. *Портнягин Л.С.* Математическая теория оптимальных процессов: монография / Л.С. *Портнягин, В.Г. Болтянский, В.Г. Гамкелидзе, Е.Ф. Мищенко*. - М.: Физмаггиз, 1961. – 238 с.

3. *Athans M., Falb P.L.,* Optimal Control, McGraw-Hill, New York, 1965.

4. *Halkin H.* Mathematical Foundations of System Optimization, Academic Press, New York, 1967.

5. *Lee E. B.* A Sufficient Condition in the Theory of Optimal Control, SIAM J. Control, 1, 241-245 (1963).

6. *Sagan H.* Introduction to the Calculus of Variations, McGraw-Hill, New York, 1969.

UDC 681.518

V.V. Drevetskiy, d.t.s., S.P. Vorobyuk
(National University of Water Management and Natural Resources Use, Ukraine)
V.P. Kvasnikov, d.t.s. (National Aviation University, Ukraine)

MODERNISATION OF EXISTING CONTROL SYSTEMS BASED ON THE PCS

The features of integrating advanced information technologies based on automated control systems in the existing management system training workshop on the example of raw glass factory.

At the present stage virtually no one material production can not do without the full or partial automation. This is due to the complexity of technological processes that occur, rapid variability and dynamic modes of the equipment, the necessity of accurate and timely managing impacts. Automation of these processes is essential for increasing their efficiency.

The implementation of effective multifunctional measuring and control systems requires the use of modern software-technical instrumentality based on progressive information technologies and new generation design techniques. Establishment of new automated information measuring systems is one of priority directions of modern computer technologies development.

Full or partial automation of production processes provides automatic control, regulation and signalling of the process parameters through appropriate automatic devices, accident-free start and stop of the available units. Automation of technological processes at the present stage provides a broad introduction of computer technology in the management system, which should solve the problem by the main process equipment, auxiliary operations, monitoring, analysis and computer aided management and supervisory control and data acquisition systems.

During the modernization of frequent occurrence is the need for introduction of management in existing, debugged involved in the production cycle process. This is usually a requirement of making minimal changes to the existing technical system and the existing management system to provide it with emergence characteristics [1].

During an investigation at the department of feedstock at the glass factory the level of automation of the existing system of management of technological aids was determined. The composition of the present system of control consists of cabinets with based control equipment and buttons, some of which are based in place. The system includes a hardware lock not correct switch sequence units, and it is difficult with understanding the process start / stop the technology line, herewith the temperature at the beginning and end of each drum drying settings displayed on the recorder, located near each of them.

Location on three floors of the department control equipment and locking devices in cabinets and in place forced the operator, during operation of the equipment bypass, spending a long period of time, until to 15 minutes. The sequence of the bypass also depended on whether it was starting, or stopping of the technology line. Appropriate indication of the work of equipment is implemented only on the control boards, so during alarms triggering the operator should at first explain the reasons for refusal on the shield, and only then determine to re-start or stop the equipment of the line and make decision to eliminate all causes.

Based on the analysis conclusion about the possibility of establishing a comprehensive automation system which should be based on modern information technologies and the proposed three-level automation system, distributed on the basis of management of technological devices of the firm OVEN [2]. Lower level consists of remote input / output modules, which directly interact with the processing equipment without additional normalizing converters and relay interface elements. Compact design of remote input / output modules allows to install them in existing control cabinets of production lines of training materials shop without significant changes in existing electrical circuits.

All remote modules of analog input, discrete input and discrete output combined with each other in industrial network RS-485 using two wires line of twisted pairs of conductors. Through

automatic converter interfaces USB/RS-485 designed network connects to the USB port to a personal computer (Fig. 1).

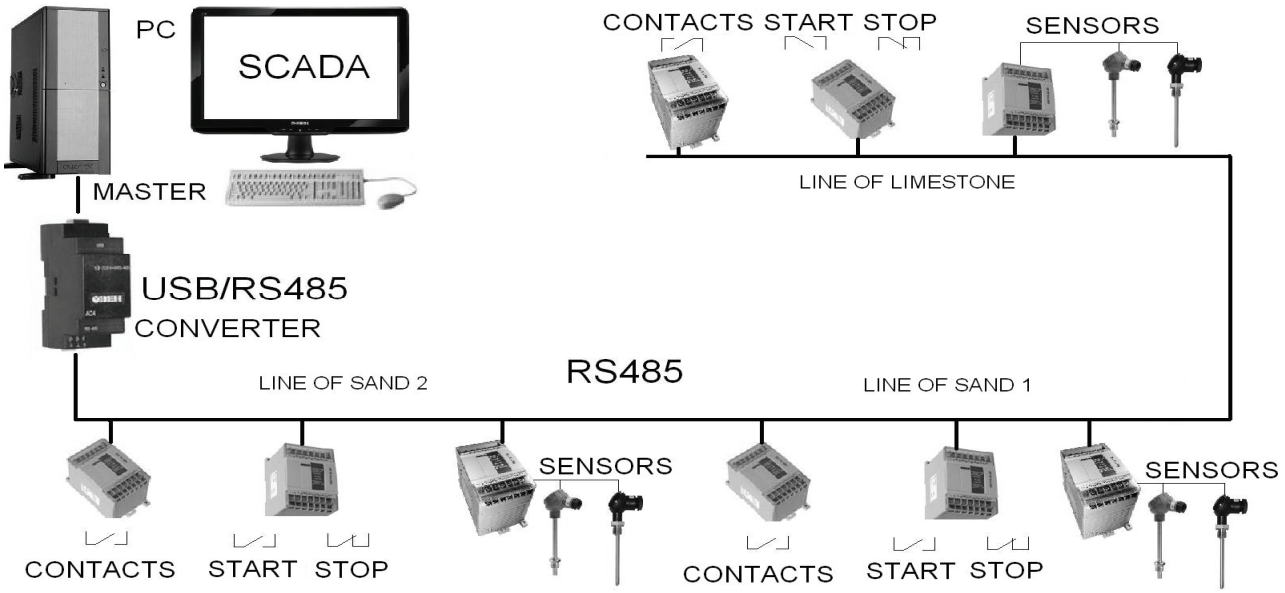


Fig. 1. Block diagram of automated process control system of raw materials for glass factory

Automated workplace organized by means of professional SCADA system Trace Mode. Graphical user interface developed using the existing SCADA system in object-oriented editor, which includes a full set of animated features [3].

For ease of displaying all available devices are represented in lines according to their appearance, in proportion to each other in sequence to their location at the department. For easy identification of process equipment at each group of buttons of start / stop at mnemonic diagrams also indicated the number of equipment items, as shown in Fig. 2. for line of limestone.

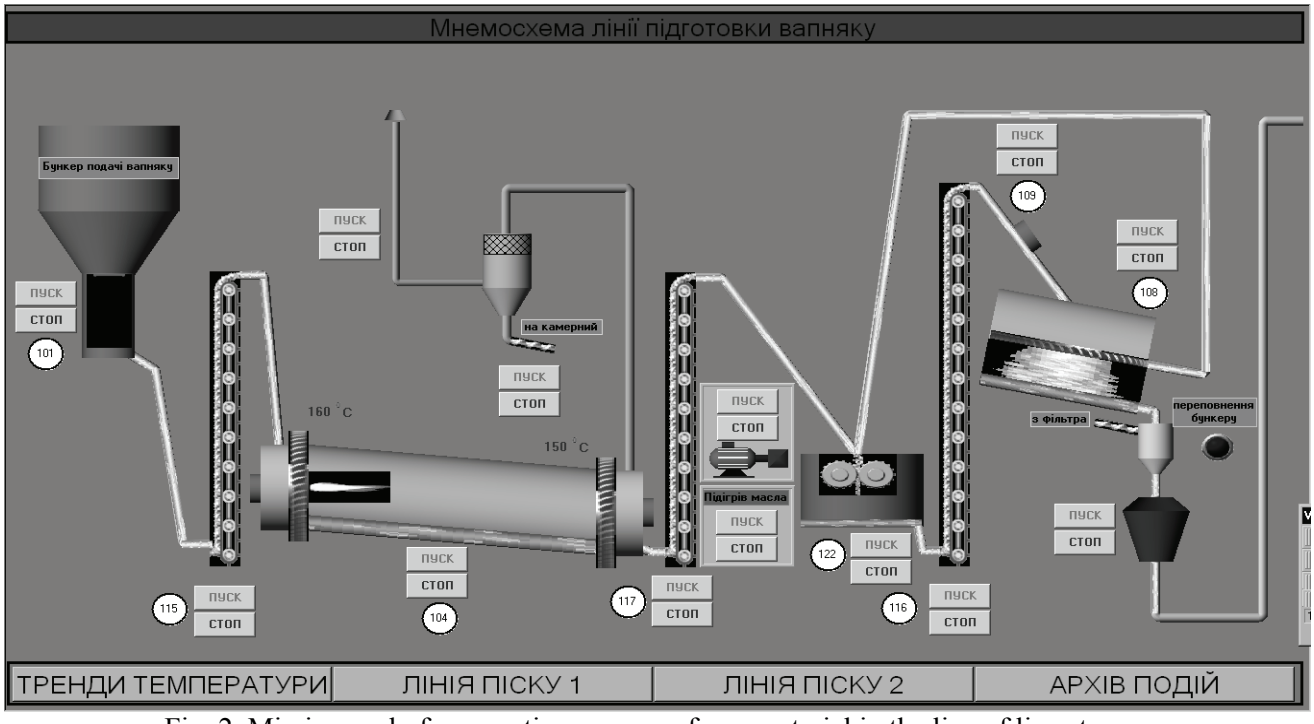


Fig. 2. Mimic panel of preparation process of raw material in the line of limestone

The state of each vehicle is displayed using dynamic graphics, which during running lines have representation on the progress of the process. Conditions of separate units indicate by

changing the color of simple static elements (red - off, green - on). It should also be noted that to enable individual sized devices with large inertia, or for those that contain their own microprocessor control system, you need a certain period of time. So provides hold of manager with control buttons until you start moving images, which indicates a full launch of the technological device.

To display at these mnemoschemes other plant lines below each screen are the buttons. All graphs of temperature change at the beginning and at the end of each drum drying installation located in a separate window. With the trend can be traced by the change in temperature over time and determine its current value.

Some technological devices to ensure safety include local lock buttons, at which the operation of it is not possible no remote, no manual switch in place. Therefore, informing the operator about a particular blockage of technological equipment, mimic panel contains appropriate informative indicators. In case of accident with blocked apparatus in place, the orderly controller must inspect this machine, knowing the reason for blocking, and the possibility of its withdrawal from this state.

Working hours of each line are displayed on a separate schedule on a dedicated screen monitoring of plant lines (Fig. 3).

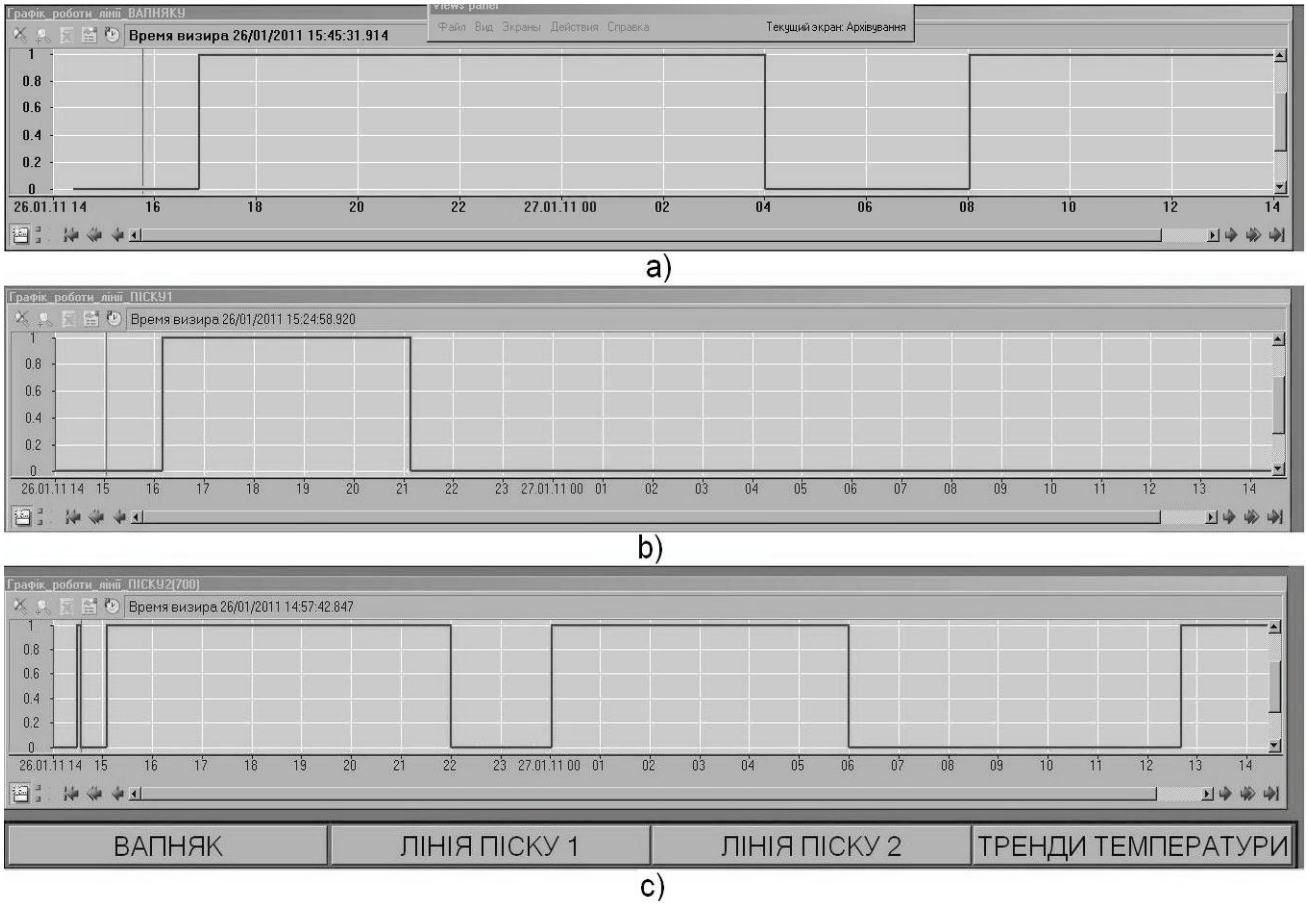


Fig. 3. Display of schedule workshop training materials during the day: a) line of limestone; b) line of sand; c) line of sand 2

The peculiarity of this PCS is that it SCADA-system performs functions of the controller, such as conducting unpacking bit fields obtained from blocks decentralized peripherals. It is a master with respect to the RS-485 and configured OPC-server reads the data from all units that comprise the network. Each block has a unique network address. Settings of the port number, to which the auto transformer of the interfaces is connected, data rate and protocol for all blocks that includes decentralized periphery, should be the same. During unpredictable turned off of the power or network from one block or group of input / output blocks SCADA-system continues to work with remained part of the network. It falls a little performance of the system as a master network

several times trying to find unconnected blocks. After eliminating the causes of failure in the network developed PCS alone returns again to the previous mode.

The structure of decentralized periphery contains the following types of modules: 16D-MV110, MV110-2A and MU110-8R. Discrete Input Module MV110-16D contains 16 discrete input channels. It can be connected using non potential (dry) contacts and the transistors of the n-p-n type keys. Analog input module MV110-2A contains two universal analog inputs, which can connect a wide range of sensors: thermocouples and thermistors without using of normalizing transducers, and sensors with uniform current and voltage signals. In this unit are implemented filtering and correction of the output signals. Module of discrete output MU110-8R has 8 relay outputs with a switching capacity 4A, 220V. Modules are powered with current of direct voltage DC 24V or AC 220V, which is very convenient for existing systems. All these devices are working in the network RS-485 by protocols OVEN, ModBus-RTU, ModBus-ASCI and DCON. One should not forget that the OVEN protocol developed to describe the exchange of information between OVEN devices and a PC on the network RS-485, it is used in the configuration of devices.

All of the modules are provided by the manufacturer with OPC-server that is used for devices connection to the SCADA-systems and controllers of other manufacturers. Modules configuration conducted on a PC through automatic converter of interfaces AS4 using "M110 Configurator" [2]. All modules in regard toEMC have class A, they are resistant to the interference of this kind. Convenience of using modules detected during installation of them, when it was necessary to install the equipment in cabinets. These devices were mounted on the standard DIN-rail, compact arrangement had been reliable in use and economized cost of laying electrical cables.

Existing remote supervisory control system includes available hardware blockage. Introduced PCS based on SCADA-system, even without a controller, can provide the same features. In this case the locking can be prescribed in the respective programs using one of the IEC 61131-3 standards, which are supported by the Trace Mode.

Developed system allows realizing an automatic start and stop of the automated production lines after clicking by the appropriate button of the start or stop. After this technological devices will be run and stop in predetermined sequence, and with pre-defined time intervals prescribed in the appropriate control program.

Conclusions

The proposed system of supervisory control and data acquisition in real time for the workshop training materials of the glass factory fully corresponds to the set to it demands. Implementation of this system allows reduction of the start-up of each processing line for ten times, entering the continuous monitoring equipment, to reduce unproductive happening of equipment. Specialized software together with hardware includes the properties of universality, extensibility and scalability. The presence of these properties enables further gradual evolutionary expansion of the integrated ICS without stopping production. Lack of the controller and industrial network using simple and relatively inexpensive units of decentralized information gathering allows us to offer the above set of software and hardware for automation control systems and other technological processes, while ensuring a profitable price and system reliability.

References

Emergence [Electronic resource] - Mode of access to resources: http://en.wikipedia.org/wiki/Emergence

1. Official website of the company OVEN [Electronic resource] - Mode of access to resources: http://www.owen.ru/

2. SCADA- systems, or the choice of flour [[Electronic resource] / N. A. Kutsevich. – Mode of access to resources http: //www.rtsoft_training.ru.

УДК 681.2.083:555.7

В.В. Древецький, д.т.н., проф., М.М. Клепач, аспірант
(Національний університет водного господарства та природокористування, Україна)
Т.М. Пирог, аспірантка (Національний авіаційний університет, Україна)

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО АНАЛІЗАТОРА ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ

Розглянуто метод визначення цетанового числа дизельних палив на основі його фізико-хімічних параметрів із використанням штучних нейронних мереж.

Важливою якісною характеристикою дизельних палив є його здатність до самозаймання при стисненні. Ця здатність виражається в умовних одиницях цетанового числа (ЦЧ), що чисельно рівне процентному (за об'ємом) вмісту цетану (н-гексадекану) в суміші з альфа-метилфталеїном. Якщо дизпаливо характеризується такою ж займистістю, що і модельна суміш цих двох вуглеводнів, то цетанове число такого палива приймають рівним процентній частці цетану у даній суміші. Чим воно більше, тим легша займистість суміші при стисненні. При низьких ЦЧ підвищується жорсткість роботи двигунів, а при високих - знижується економічність та підвищується задимленість відпрацьованих газів.

Згідно [1] найбільш точним при визначенні ЦЧ є моторний метод, який виконується по [2]. Випробування проводяться на стандартному одноциліндровому чотиритактному форкамерному двигуні зі змінною величиною стиснення. Такі дослідження є дуже трудомісткими, вимагають багато часу і великої кількості матеріалів для досліджень. При тому, вони є досить затратними через високу вартість, як самого устаткування та його обслуговування, так і через вартість еталонних сумішей.

Крім цього, існує також лабораторний метод визначення ЦЧ, який по точності наближається до моторного. Він ґрунтується на експериментальному визначенні густини і кінематичної в'язкості продукту при температурі 20°С та розрахунку цетанового числа за відомими формулами.

Зокрема, для розрахунку ЦЧ використовують залежність [3]:

$$ЦЧ = (\nu_{20} + 17{,}87)\frac{1{,}5879}{\rho_{20}}, \qquad (1)$$

де: ν_{20} - кінематична в'язкість в $\left[\frac{мм^2}{с}\right]$ і ρ_{20} - густина в $\left[\frac{г}{см^3}\right]$ при температурі дизпалива 20°С.

Метою роботи є підвищення точності визначення ЦЧ дизельних палив на основі виміряних значень їх кінематичної в'язкості і густини та використання штучних нейронних мереж.

З метою оцінки ефективності використання розрахункових методів визначення ЦЧ на основі значень в'язкості і густини дизельних палив, нами здійснено вибірку з масиву сертифікатів якості партій дизельного палива класу С виду І виробництва Мозирського НПЗ. На основі цих даних проведено кореляційний аналіз взаємозвязку фізико-хімічних параметрів дизпалива з цетановим числом. В результаті аналізу отримано коефіцієнти кореляції Пірсона між густиною та цетановим числом, що рівний $R_{ЦЧ,\rho} = -0{,}299$, та кінематичною в'язкістю та цетановим числом, $R_{ЦЧ,\nu} = 0{,}606$. Отже між вказаними вище фізико-хімічними параметрами і цетановим числом дизельного палива існують суттєві взаємозв'язки.

На рис.1 приведено порівняння результатів визначення ЦЧ розрахунково, та дійсних значень, визначених моторним методом згідно сертифікатів.

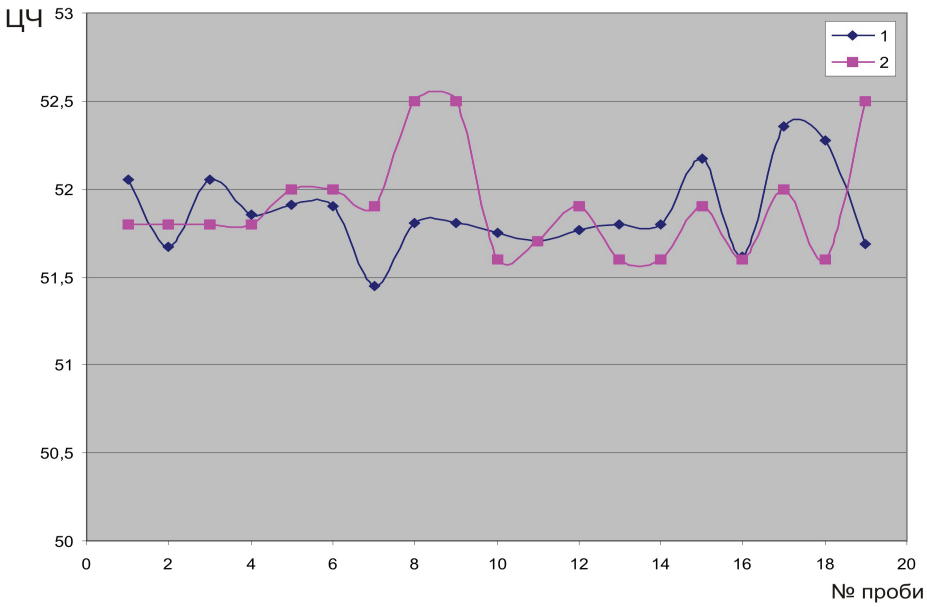


Рис.1 Порівняльна характеристика ЦЧ розрахованого за формулою (2) та виміряного моторним методом. 1 – ЦЧ розраховане за формулою (2); 2 – ЦЧ згідно сертифікату.

Як видно з рис.1, розрахунковий метод характеризується невисокою точністю. Розробка автоматизованих систем високої точності потребує раціонального поєднання традиційних методів вимірювання та інформаційних компонентів [4]. Інформаційні компоненти відображають зв'язки між характерними параметрами моделі, які представляються у формі нейронних мереж, реалізованих у вигляді комп'ютерних програм із самонавчанням. Структури штучних нейронних мереж дозволяють суттєво підвищити ефективність обробки вхідної інформації, отриманої в процесі роботи автоматизованої системи контролю якості дизельних палив.

Для обчислення цетанового числа дизельних палив на основі виміряних густини та кінематичної в'язкості в багатофункціональному автоматичному аналізаторі показників якості нафтопродуктів створена штучна нейронна мережа в Neural Network Toolbox з використанням пакету прикладних програм Matlab [5].

Нейронна мережа однонапрямлена двошарова (рис. 2): перший (прихований) шар з 50 нейронів має функцію активації $tansig(n)=\frac{2}{1+e^{-2n}}-1$, другий (вихідний) шар, представлений одним нейроном і має лінійну функцію активації. Входом мережі є матриця-стовпець з 2 параметрів: густини та кінематичної в'язкості, виражених відповідно в кг/м^3 та сСт. Вихід мережі – значення цетанового числа.

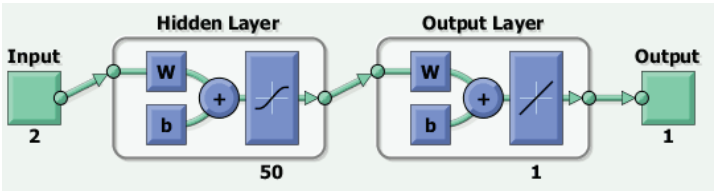


Рис. 2. Структура нейронної мережі

Для навчання мережі використана функція trainscg, що модифікує ваги та зміщення мережі за методом градієнтного спуску Моллера. Показником ефективності функціонування мережі обрано середню квадратичну помилку.

Параметри навчання мережі обрані такі:

- максимальна кількість епох навчання – 1000;
- цільова ефективність функціонування – 0;
- мінімальний градієнт ефективності функціонування – 10^{-90};
- максимальна кількість раз підвищення ефективності функціонування з моменту останнього зменшення – 100;

- зміна ваги для наближення другої похідної $\lambda=5\cdot10^{-5}$;
- параметр регуляризації $5\cdot10^{-7}$.

В якості вихідних даних для навчання мережі взята матриця 2x19 із значеннями густини і кінематичної в'язкості при 40 ^{0}C, а цільових даних – матриця 1x19 значень цетанового числа, визначеного моторним методом (див. Табл. 1).

В результаті навчання середню квадратичну помилку навчання мережі зведено до $1{,}55\cdot10^{-29}$ за 105 епох (рис. 3).

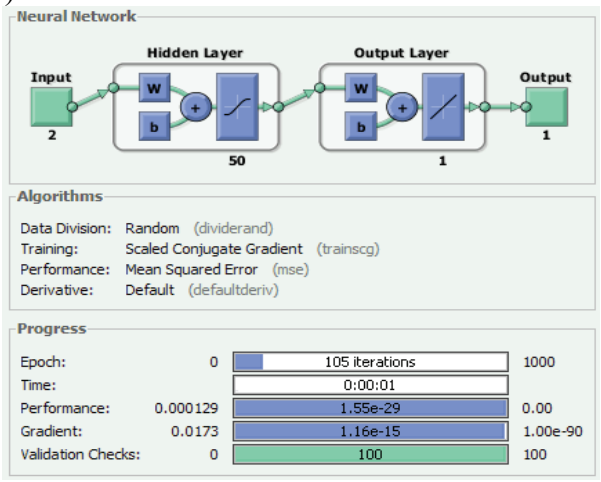


Рис. 3. Досягнуті в процесі навчання показники

Після виконання процедури навчання нейронна мережа з достатньо високою точністю визначає цетанове число за густиною та кінематичною в'язкістю дизельного палива, виміряних при температурі 40 ^{0}C (рис. 3).

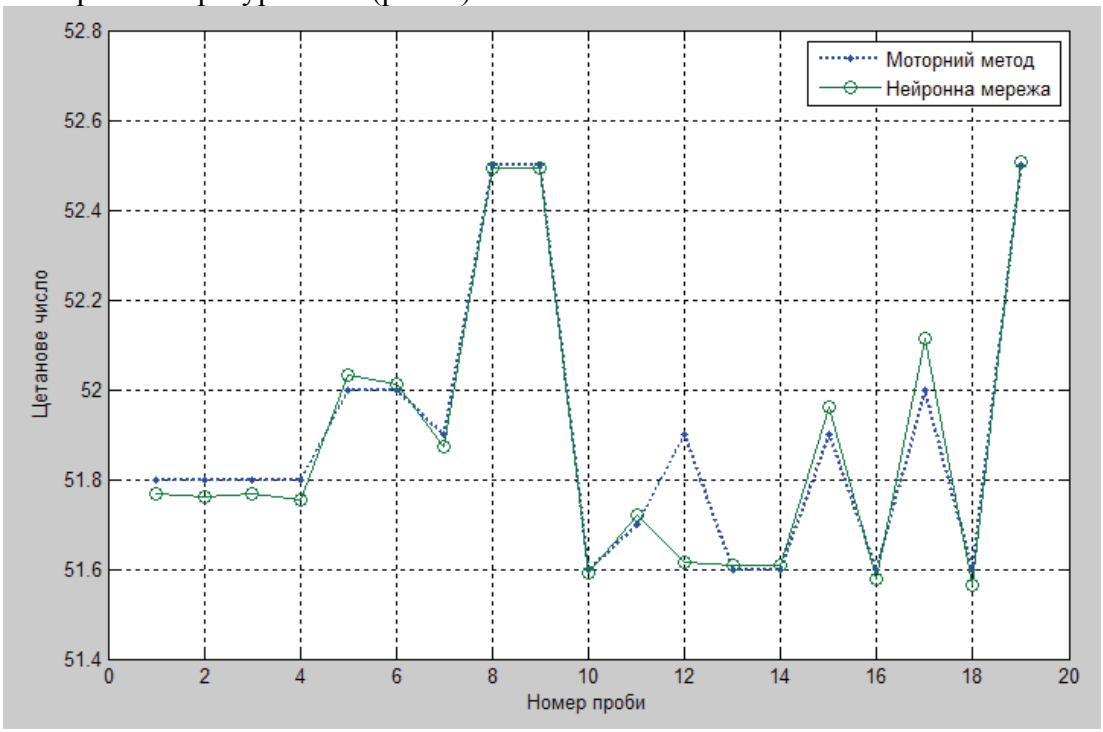


Рис. 3. Порівняння значень цетанового числа, визначених за допомогою нейронної мережі та моторним методом

Проведене порівняння результатів розрахунків ЦЧ дизельних палив по відомій залежності (2) і з використанням нейронних мереж (табл.2) показує, що використання останніх дозволяє досягти відносної похибки визначення ЦЧ не більше 2%

Таблиця 2.

Порівняльний аналіз методів вимірювання ЦЧ

Номер проби	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЦЧ (моторний метод)	51,8	51,8	51,8	51,8	52	52	51,9	52,5	52,5
Розраховане ЦЧ	52,06	51,67	52,06	51,86	51,91	51,90	51,45	51,81	51,81
ЦЧ з використанням нейронної мережі	51,77	51,76	51,77	51,75	52,03	52,01	51,87	52,49	52,49

Таблиця 2. продовження

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Похибка	
51,6	51,7	51,9	51,6	51,6	51,9	51,6	52	51,6	52,5	Δ_{max}	σ, %
51,75	51,70	51,77	51,80	51,80	52,17	51,62	52,36	52,27	51,69	0,81	8,78%
51,59	51,72	51,61	51,61	51,61	51,96	51,58	52,11	51,56	52,51	0,29	1,74%

Реалізація розробленої моделі нейронної мережі в управляючому програмованому логічному контролері автоматичного аналізатора кінематичної в'язкості та густини нафтопродуктів [5] дозволяє здійснювати неперервне вимірювання цетанового числа дизельних палив в процесах його виробництва.

Використання запропонованого інформаційного забезпечення в автоматичному аналізаторі для неперервного контролю ЦЧ підвищує достовірність отриманих результатів, а здатність штучних нейронних мереж до перенавчання робить його універсальним і дозволяє пристосовувати до різних виробництв та видів дизельного палива.

Висновки

В результаті проведених досліджень показано, що за умови використання нейронних мереж при обробці результатів вимірювань можна з високою точність визначити цетанове число дизельних палив за значенням їх кінематичної в'язкості та густини, забезпечити адаптацію вимірювальної системи до різних видів моторних палив втому числі і біологічних.

Список літератури

1. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия.- Москва. -ИПК Издательство стандартов.-2003.-10с.

2. ГОСТ 52709-2007. Топлива дизельные. Определение цетанового числа. – Москва. – Стандартинформ. – 2007.-28с.

3. Бойченко С. В. Моторные топлива и масла для современной техники / С. В. Бойченко, С. В. Иванов, В.Г. Бурлака. – Киев.: НАУ, 2005.-216 с.

4. Квасников В. П. Методика построения и обучения однослойных нейронных сетей в пакетах LabVIEW. В. П. Квасников, Н. А. Снисарь, В. Ю. Ларин / Вісник Інженерної академії України: Теоретичний і науково-практичний журнал.- Київ, 2008.-Вип.2.-С.95-102.

5. Neural Network Toolbox. [Електронний ресурс] / [режим доступу] http://www.mathworks.com/help/toolbox/nnet/

УДК 621.376.5

Л.М. Покидько, К.С. Бабіч, асистент,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

У статті розглянуто пристрої для контролю геометричних розмірів виробів шляхом відповідної обробки їх дифракційного зображення складною фотоелектричною вимірювальною системою, або оптичною системою просторової фільтрації. Дифракційні методи контролю якості виготовлення періодичних структур є найбільш перспективними. Вони покладені в основу численних лазерних дифракційних вимірювачів лінійних розмірів малих об'єктів.

В останні роки спостерігається інтенсивний розвиток аерокосмічної та ракетної техніки, що в свою чергу ставить перед промисловістю задачу створення точних і надійних деталей та вузлів. Традиційні контактні методи контролю геометричних параметрів є назавжди продуктивні, автоматизація яких складна і неперспективна. Для метрологічного забезпечення створення високопродуктивних методів та засобів контролю геометричних параметрів, а саме статистичних розмірів елементів, їх просторової періодичної структури, є важливим завданням сьогодення і диктується реальними потребами виробництва.

Завдяки прогресу в області обчислювальної техніки та інформатики стає можливим створення автоматизованих вимірювальних систем контролю. Однією з пріоритетних задач при автоматизації вимірювань є зведення до мінімуму людського фактору.

Найбільш перспективним для автоматизації геометричного контролю є застосування фотоелектричних вимірювальних пристроїв, що виконані на основі лазерних дифрактометрів. Але широке використання лазерних дифрактометрів ускладнене через відсутність їх промислового виробництва [1].

В основу принципу дії такого вимірювального автомата покладено тіньової оптичний метод послідовного сканування всіх елементів виробу і порівняння їх з еталоном. Для досягнення високої точності вимірювань переміщення контрольованого вироби в полі зору оптичної системи здійснюється гідравлічними приводами.

Точність вимірювань приладу не залежить від швидкості переміщення виробу. Однак вібрації об’єкту контролю, а також деталей всього приладу неприпустимо і усувається застосуванням системи складних гідравлічних приладів. Крім того, необхідна також висока точність фокусування оптичної системи, порушення якої призводить до розмиття зображення. Так як існує ряд деталей які переміщуються один відносно одного, то необхідна механічна прецизійна система, що ускладнює конструкцію приладу і підвищує відповідно його вартість [2].

Припущення про можливість використання явища дифракції світлових хвиль для контролю розмірів об'єктів були вперше висловлені Роулендом в 1888 році [3, 4, 5]. Пізніше він використовував це для якісного контролю виготовлення періодичної структури дифракційних решіток. Суть методу полягала в тому, що, якщо дифракційну решітку опромінити монохроматичним пучком світла, то на певній відстані від неї формуються еквідистантно розташовані дифракційні максимуми світлового потоку. При наявності дефектів решітки, навколо цих основних максимумів виникають і додаткові максимуми, які отримали назву "духів". Проте теоретичне обґрунтування цього явища в той час так і не було сформульовано, що і не дозволило визначити аналітичні залежності, що описують функціональний взаємозв'язок розподілу світлового потоку "духів" з дефектами гратки.

Дифракційні методи контролю якості виготовлення періодичних структур є найбільш перспективними. Вони покладені в основу численних лазерних дифракційних вимірювачів лінійних розмірів малих об'єктів.

Для контролю діаметра вузьких отворів в [6] запропоновано опромінювати контрольовані отвори монохроматичним пучком світла та вимірювати амплітуду парних і непарних максимумів дифракційної картини отвори. Для розширення діапазону діаметра вимірюваних отворів, необхідно змінювати довжину хвилі випромінювання до тих пір, поки амплітуда інтерференційного сигналу непарних гармонік досягне подвоєного значення амплітуди світлової хвилі у вільному просторі. Діаметр вимірюваного отвору визначають за формулою:

$$D = 2\sqrt{\lambda \cdot l},$$

де l - відстань між вимірюваним отвором і точкою виміру світлового поля дифракційної картини. Недоліком методу є необхідність застосування лазера зі змінною довжиною хвилі генерації.

Відомі також пристрої [6, 7] для допускового контролю геометричних розмірів виробів шляхом відповідної обробки їх дифракційного зображення складною фотоелектричною вимірювальною системою, або оптичною системою просторової фільтрації. Проте ці пристрої є вузько спеціалізованими і вимагають попереднього синтезу складних голографічних просторових фільтрів, що дозволяє їх використовувати лише для якісного допускового контролю виробів.

Таким чином лазерні дифрактометри є найбільш перспективними науковим напрямком розвитку автоматизованого метрологічного обладнання. Воно може бути також успішно використане і для розробки засобів автоматизації контролю статистичних характеристик квазиперіодичної структури. Це, у свою чергу, може бути виконано лише зі створенням спеціалізованих оптичних систем обробки зображень (ОСОІ) на базі когерентних оптичних спектроаналізаторів (КОС) просторових сигналів, покладених в основу практично всіх відомих лазерних дифрактометрів.

Інтенсивний розвиток лазерних дифрактометрів цих систем почався на початку 80-х років. Побудова голографічних дифракційних оптичних систем для метрології ґрунтується на отриманні зображень Френеля, або Фур'є досліджуваного об'єкта з подальшим аналізом їх параметрів фотоелектричною вимірювальною системою [8].

Основною перевагою таких метрологічних систем є висока продуктивність, що дозволяє автоматизувати ряд метрологічних процесів у промисловості, де потрібна інтегральна комплексна оцінка якості виробу.

Для формування зображень Фур'є або Френеля досліджуваного об'єкта використовують когерентний оптичний спектроаналізатор просторових сигналів, схему побудови і геометричні параметри якого вибирають залежно від характеру розв'язуваної задачі.

В даний час вже стала класичною схема когерентного оптичного спектроаналізатора (КОС), наведена на мал.1.

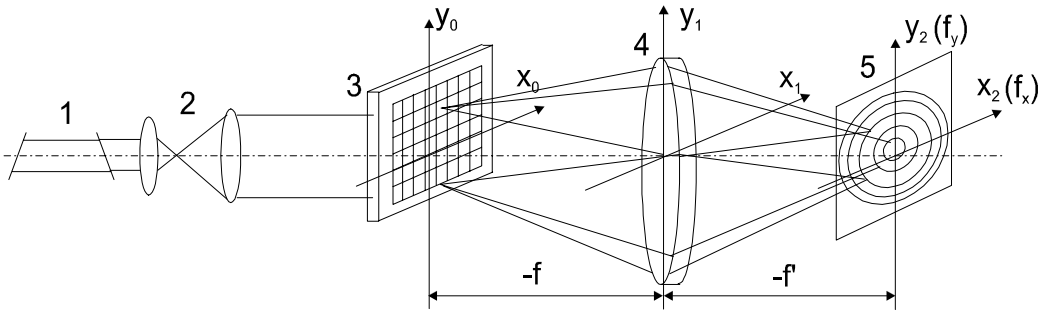


Рис.1. Принципова схема когерентного оптичного спектроаналізатора: 1 - лазер; 2 - телескопічна схема Кеплера; 3 - вхідний транспарант; 4 - Фур'є-об'єктив; 5 - дифракційне зображення.

КОС складається з розташованих послідовно на одній оптичній осі джерела когерентного випромінювання - лазера 1 і телескопічної системи Кеплера 2, що формує плоску когерентну світлову хвилю. Ця хвиля падає на вхідних транспарант 3 з фотографічним записом досліджуваного сигналу. Вхідний транспарант 3 розташований в

передній фокальній площині фур'є-об'єктиву 4 (об'єктиву вільного від аберації, дисторсії і поперечної сферичної) з фокусною відстанню f'. На вхідному транспаранті 3 світлова хвиля дифрагує, і фур'є-об'єктив 4 на задній площині 5 формує дифракційне зображення досліджуваного сигналу, яке є його фур'є-образом і описується виразом

$$U(f_x, f_y) = \frac{A_0}{j\lambda f'} \int_{-\infty}^{\infty}\int U(x_0, y_0) e^{-j2\pi(x_0 f_x + y_0 f_y)} dx_0 dy_0,$$

де A_0-амплітуда плоскої монохроматичної світлової хвилі в площині $x_0 y_0$; λ- довжина хвилі; $f_x f_y$ - просторові частоти, рівні $f_x = \frac{x_2}{\lambda f'}$ і $f_y = \frac{y_2}{\lambda f'}$, де x_2, y_2 - просторові координати в площині 5.

Таким чином, розподіл комплексних амплітуд світлових полів у задній і передній площинах фур'є-об'єктиву 4 оптичної системи пов'язані між собою парою перетворень Фур'є. Поле в задній фокальній площині є просторовим амплітудно-фазовим спектром сигналу, поміщеного в його передній фокальній площині.

Описана вище оптична система виконує спектральне розкладання просторового сигналу і є когерентним оптичним спектроаналізатором [7,8]. Вона дозволяє аналізувати одночасно амплітудний і фазовий спектри як одновимірних, так і двовимірних просторових сигналів.

Існує два основні різновиди схем побудови лазерних дифрактометрів. Ці схеми представлені на рис .2 і рис. 3.

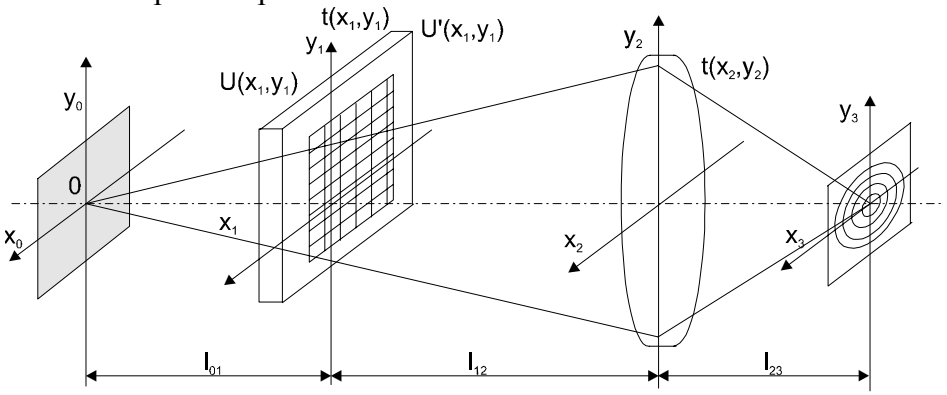


Рис.2. Схема КОС з вхідним транспарантом перед фур'є-об'єктивом.

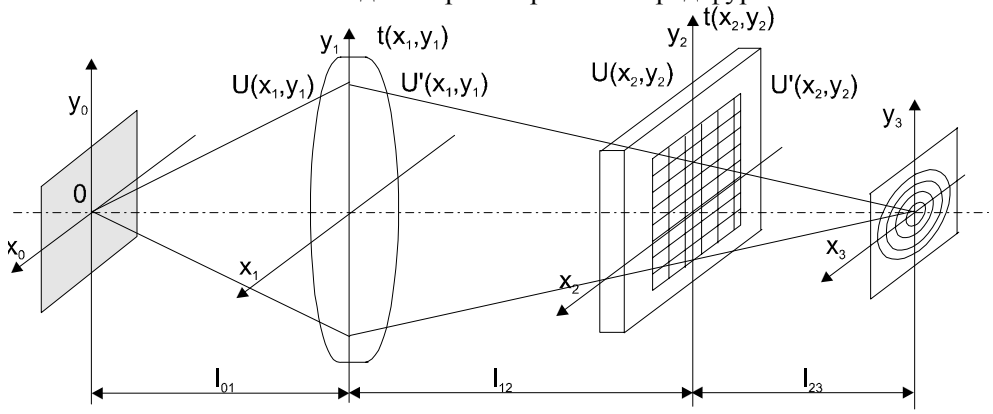


Рис.3. Схема КОС з вхідним транспарантом за фур'є-об'єктивом.

За умови фокусування оптичної системи, представленої на рис.2, в ній здійснюється спектральне перетворення Фур'є, що формується в площині x_3y_3, над сигналом, що міститься у вхідній площині x_1y_1. Однак, фур'є-образ сигналу у такій системі містить квадратичну модуляцію фази хвилі через наявність фазового співмножники, що стоїть перед інтегралом у виразі:

$$U(x_3,y_3)=-\frac{2\pi C_0}{jk\left(\frac{1}{l_{12}}+\frac{1}{l_{23}}-\frac{1}{f'}\right)}\cdot\exp\left[jk\left(\frac{1}{2l_{23}}-\frac{1}{2l_{23}^2\left(\frac{1}{l_{12}}+\frac{1}{l_{23}}-\frac{1}{f'}\right)}\right)\cdot\left(x_3^2+y_3^2\right)\right]\times$$

$$\times\iint_{S_1}t(x_1,y_1)\exp\left[jk\left(\frac{1}{2}\left(\frac{1}{l_{01}}+\frac{1}{l_{12}}\right)-\frac{1}{2l_{12}^2\left(\frac{1}{l_{12}}+\frac{1}{l_{23}}-\frac{1}{f'}\right)}\right)\cdot\left(x_1^2+y_1^2\right)\right]\times$$

$$\times\exp\left[-j\frac{k}{l_{12}l_{23}\left(\frac{1}{l_{12}}+\frac{1}{l_{23}}-\frac{1}{f'}\right)}\left(x_1x_3+y_1y_3\right)\right]dx_1dy_1. \qquad (1)$$

Цей вираз описує просторовий розподіл комплексних амплітуд світлового поля в площині x_3y_3 спектрального аналізу і містить ряд взаємонезалежні квадратичних фазових співмножників.

Наявність фазової модуляції фур'є-образу призводить до того, що при реєстрації його методами голографії в результуючій інтерферограм виникають додаткові аберації, що значно впливають на його якість. Ця фазова модуляція також має важливе значення і повинна бути врахована в разі подальших перетворень оптичної системи фур'є-образу сигналу. Але ця модуляція може бути усунена при відповідному виборі геометричних параметрів оптичної системи, тобто

$$e^{j\frac{k}{2}\left[\frac{1}{l_{23}}-\frac{1}{l_{23}^2\left(\frac{1}{l_{12}}+\frac{1}{l_{23}}-\frac{1}{f'}\right)}\right]\cdot\left(x_3^2+y_3^2\right)}=1,\ \text{при}\quad 1-\frac{1}{l_{23}\left(\frac{1}{l_{12}}+\frac{1}{l_{23}}-\frac{1}{f'}\right)}=0. \qquad (2)$$

Таким чином, квадратична фазова модуляція фур'є-образу усунена лише в двох випадках:

• при розміщенні сигнального транспаранта в передній фокальній площині фур'є-об'єктива, що повністю збігається з отриманими раніше результатами досліджень, але лише для КОС з плоскою хвилею у вхідній площині, тобто при $l_{12}=f'$;

• при $l_{23}=0$, тобто площину x_3y_3 спектрального аналізу повинна збігатися з площиною x_2y_2 розміщення фур'є-об'єктива, що фізично не реалізовано в оптичній системі, згідно з умовою Гауса.

Враховуючи вирази

$$e^{jk\left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{l_{01}}+\frac{1}{l_{12}}\right)-\frac{1}{2l_{12}^2\left(\frac{1}{l_{12}}+\frac{1}{l_{23}}-\frac{1}{f'}\right)}\right]\cdot\left(x_1^2+y_1^2\right)}=1$$ і (2) можемо перетворити (1) до вигляду:

$$U(x_3,y_3)=-\frac{2\pi C_0}{jk\left(\frac{1}{l_{12}}+\frac{1}{l_{23}}-\frac{1}{f'}\right)}\cdot\iint_{S_1}t(x_1,y_1)\cdot e^{-j\frac{k}{l_{12}l_{23}\left(\frac{1}{l_{12}}+\frac{1}{l_{23}}-\frac{1}{f'}\right)}\cdot(x_1x_3+y_1y_3)}dx_1dy_1, \qquad (3)$$

звідки видно, що квадратичні фазові спотворення фур'є-образу сигналу переборні не тільки при освітленні вхідного транспаранта плоскою, але і сферичної хвилею.

За умови фокусування оптичної системи, показаної на мал.3, в ній здійснюється спектральне перетворення Фур'є, сформоване в площині x_3y_3, над просторовим сигналом, вміщеному в площині x_2y_2. Однак, фур'є-образ сигналу у такій системі містить квадратичну модуляцію фази хвилі через наявність фазового множника. Наявність фазової модуляції фур'є-образу сигналу призводить до додаткової аберації інтерферограм при реєстрації методами голографії. Ця модуляція має також важливе значення і не може бути опущена. Модуляція може бути усунена на оптичній осі системи при фокусуванні оптичної системи на нескінченність. Але в цьому випадку оптична система не буде здійснювати спектральне перетворення Фур'є.

Для оптичної системи КОС, представленої на рис.3, квадратичні фазові спотворення, що призводять до аберaційних спотворень фур'є-образу сигналу, не можуть бути усунені лише шляхом відповідного вибору геометричних параметрів оптичної системи. Для усунення цих недоліків необхідно оптичну систему доповнити коригуючим фільтром з фазовою характеристикою [8].

Висновки

Отже, квадратичні фазові спотворення фур'є-образу сигналу можливо усунути шляхом відповідного вибору геометричних розмірів оптичної системи. Розподіл комплексних амплітуд світлових полів у задній і передній площинах фур'є-об'єктиву оптичної системи пов'язані між собою парою перетворень Фур'є. Поле в задній фокальній площині є просторовим амплітудно-фазовим спектром сигналу, поміщеного в його передній фокальній площині.

Практичне застосування фотоелектричних вимірювальних пристроїв, що виконані на основі лазерних дифрактометрів повинно забезпечувати:

• скорочення часу вимірювання геометричних розмірів, а також часу на їх статистичну обробку;

• усунення впливу рівня підготовки метрологів на надійність процесу контролю:

• підвищення достовірності вимірювання геометричних розмірів шляхом їх вимірювання в декількох перерізах;

• зниження втомлюваності зору оператора.

Список літератури

1. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс // М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

2. *Муравський Л.І.* Вплив розмиття різкого краю на похибку дискретизації зображень в оптико-цифровій системі /Л.І. Муравський // Комп'ютерні технології друкарства. – 2000. – №4. – С. 373–377.

3. *Родинов С.А.* Оптика негомоцентрических световых пучков / Родинов С.А., Вон Дон Чжу, Ми Сук Чжун // Оптический журнал . – 1997. –Т. 64, № 8. – С. 28-31.

4. *Fisher R.B.* A Comparison of Algorithms for Subpixel Peak Detection/ Fisher R. B., Naidu D. K. // Advances in Image Processing, Multimedia and Machine Vision. – Heidelberg: Springer-Verlag. – 1996. – P. 205 – 229.

5. Компьютерное зрение. Современный подход /[Форсайт, Девид А, Понс, Жан].: Пер. с англ. – М.: Издательський дом «Вильямс», 2004. – 928 с.

6. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – М: Физматлит, 2003. – 784 с.

7. *Фукс-Рабинович Л. Й.* Оптико-электронные приборы./ Фукс-Рабинович Л. Й., Епифанов М. В. - Л.: Машиностроение, 1979. - 362 с.

8. *Федоров Б. Ф.* Лазеры и их применение / Федоров Б. Ф. - М.: ДОСААФ, 1973.

УДК [629.785:523.3]:621

В.В. Кованько, д.т.н, професор, О.В. Кованько, аспірант
(Національний університет водного господарства та природокористування, Україна)
О.І. Осмоловський, к.т.н., доцент кафедри
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОЦІНКА ЕНЕРГОПОГЛИНАЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ РЕГОЛІТУ МІСЯЦЯ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ ГРУНТІВ-АНАЛОГІВ

Наведено результати експериментальних досліджень енергопоглинання одиниці об'єму аналога реголіту Місяця при його ущільненні в процесі навантаження і розвантаження, що дозволяє отримати аналітичні залежності переходу від параметрів моделі до параметрів оригіналу.

У зв'язку з появою технічної можливості і економічної доцільності освоєння Місяця, експлуатації його сировинного і енергетичного потенціалу та організації широкого спектру космічних технологій, все чіткіше вимальовуються контури задач створення принципово нових енергоощадних машин, механізмів та роботів різного призначення, здатних функціонувати у відмінних від земних фізичних умовах. Це вимагає отримання різнопланової інформації щодо оцінки інженерно-будівельних властивостей реголіту, дослідження систем «реголіт-рушій» та «реголіт-робочий орган», що для позаземного машинобудування, яке тільки зароджується, має велике наукове і практичне значення.

Для оцінки енергопоглинаючої здатності моделей реголіта з метою подальшого врахування її при прогнозуванні необхідного енергоресурсу різних механізмів і машин для умов Місяця, нами розроблено пристрій, конструктивна схема якого наведена на рис. 1.

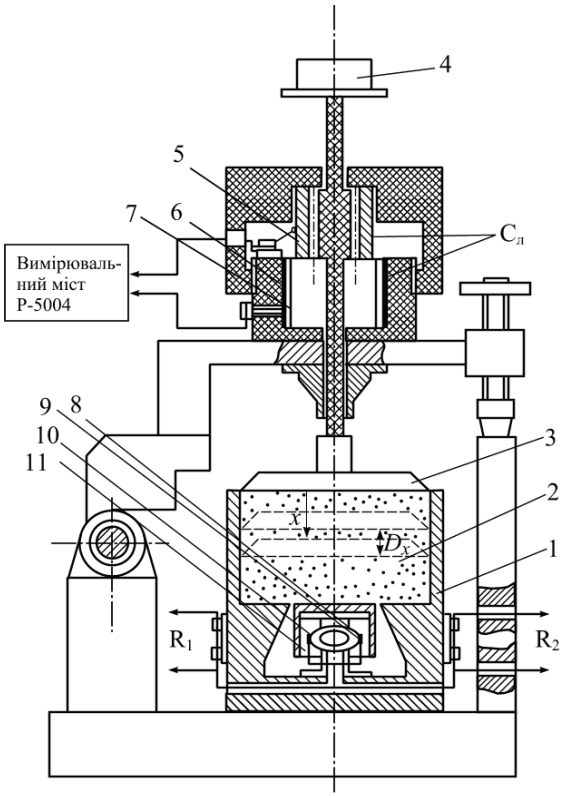


Рис.1. Конструктивна схема пристрою для дослідження енергопоглинаючої здатності аналогів реголіту при ущільненні у замкненому об'ємі

Пристрій складається із камери 1, в якій розміщено ґрунт-аналог 2, що деформується гляцсованим, легко ковзаючим поршнем 3 під дією навантаження 4. В якості моделі реголіта було використано дрібнозернистий кварцовий пісок з відносною вологістю 2,45% [1-3]. Циліндричний ємнісний перетворювач C_A, служить для перетворення переміщення x поршня у відповідну величину електричної ємності, яка визначається довжиною $l_п$ перекриття його обкладок – рухомої 5 та нерухомої 6 ($x=l_п$). Останні розділені між собою слюдяним ізолятором 7, що послаблює вплив зміни температури та вологості навколишнього середовища на точність вимірювань. Вихідне положення обкладок перетворювача C_A відповідає початковому значенню його електричної ємності, що приймається за нульове, а при максимальному ході поршня 3 (50мм) ця ємність збільшується до 150 пФ. В якості вторинного вимірювального приладу, застосовано високочастотний вимірювальний міст (наприклад Р-5004).

Тиск всередині зразка аналога реголіта визначався за допомогою вимірювального вузла, який складається з пружного кільцеподібного елемента 8, зафіксованого у циліндричному стакані 11, на якому закріплено тензорезистори 9 (R_1) та 10 (R_2).

Довжина переміщення x визначалась через величину електричної ємності C_{xi} перетворювача C_A

$$x = \frac{C_{xi} \lg \frac{D_{п2}}{D_{п1}}}{0,241\,\varepsilon}, \qquad (1)$$

де ε - діелектрична проникливість слюдяного ізолятора 7; $D_{п2}$ - внутрішній діаметр зовнішньої обкладки 6; $D_{п1}$ - зовнішній діаметр внутрішньої обкладки 5.

Оскільки щільність ρ зразка ґрунту дорівнює $m_г / V_г$, де $m_г$ - маса ґрунту в камері 1, а $V_г$ - об‘єм цього ґрунту і $V_г = V_0 - S_0 \cdot x = S_0(H_0 - x)$, де V_0 - початковий об‘єм ґрунту в недеформованому стані, H_0 - початкова висота маси ґрунту в камері (H_0=100 мм), S_0 - площа основи камери, яка приблизно дорівнює площі поршня (S_0=28,26$\cdot 10^{-4}$ м^2), то

$$\rho = \frac{\frac{m_г}{V_0}}{\frac{V_0}{V_0} - \frac{S_0 x}{V_0}} = \frac{\rho_0}{1 - \frac{x}{H_0}}, \qquad (2)$$

де ρ_0 - щільність зразка в недеформованому стані ($\rho_0 = 1,452$ г/см^3).

Підставивши у (2) замість *x* його значення із (1), отримаємо, що величина *ρ* (кінцеве значення якої становить, 1,502 г/см^3) визначається по величині C_{xi}

$$\rho = \frac{0,241\varepsilon\rho_0 H_0}{0,241 H_0 \varepsilon - C_{xi} \lg \frac{D_{п2}}{D_{п1}}}. \qquad (3)$$

Із (2) знайдемо, що

$$x = H_0\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right). \qquad (4)$$

За результатами проведених досліджень були отримані дані, представлені на рис.2, де по осі абсцис відкладено деформацію *x* ґрунту, а по осі ординат – тиск p.

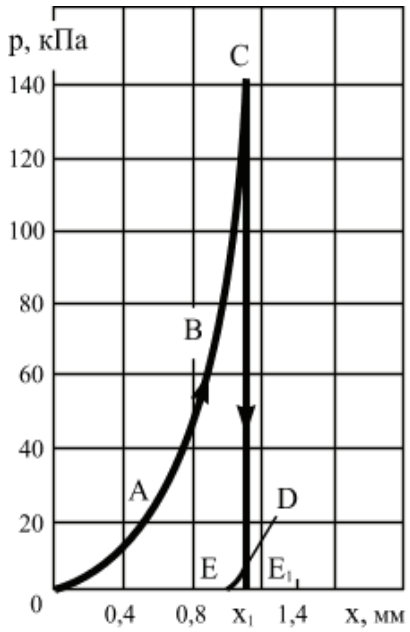


Рис.2. Залежність деформації x кварцового піску від тиску p при навантаженні та розвантаженні

Як видно із рис.2, при навантаженні (ущільненні) зразка, отримується крива $OABC$, а при розвантаженні – друга крива CDE, яка є майже вертикальною і не співпадає з кривою навантаження.

Апроксимація кривої навантаження дозволила отримати залежність

$$p = a(e^{bx} - 1), \tag{5}$$

де $a = 2,91\text{кПа}$; $b = 3,56\text{м}^{-1}$.

Якщо через $\bar{s}$ позначити площу поршня, що діє на модель реголіта, то елементарна робота dA_c, яка йде на його стискання визначиться як

$$dA_c = p\bar{s}dx \tag{6}$$

де dx - елементарна довжина переміщення поршня.

Підставивши значення p із (5) в (6) і проінтегрувавши вираз отримаємо

$$A_c = \frac{a\bar{s}}{b}(e^{bx} - bx - 1) \tag{7}$$

Робота A_c, в загальному випадку, витрачається на ущільнення (стискання) ґрунту, долання його деякої пружності і внутрішнього тертя ґрунтових частинок.

Із аналізу рис.2 випливає, що площа EDE_1E представляє собою ту частину витраченої на деформацію роботи A_0 зовнішніх сил, яка перейшла у форму потенціальної енергії стиснутого зразка кварцового піску. При зворотному ході поршня вона проявляє себе перетворенням в механічну роботу сил, що діють на поршень. Іншими словами на відрізку E_1E поршень рухається під дією зразка ґрунту, у якого проявились пружні властивості.

Отже, можна прийняти, що робота A_0, яка перейшла у форму потенціальної енергії стиснутого зразка ґрунту визначиться як

$$A_0 = \eta^* A_c, \tag{8}$$

де η^* - коефіцієнт, який дорівнює відношенню площ EDE_1E та $OABCDE_1O$ ($\eta^* \approx 0,002$).

Із наведеного випливає, що робота A_c, яка витрачається зовнішніми силами на

стискання зразків ґрунту може бути представлена сумою робіт, а саме роботою A_y, що іде на ущільнення ґрунту (зближення між собою його частинок, руйнування пор і витискування повітря) та роботою A_0, що переходить у потенціальну енергію контактуючих між собою частинок за рахунок безпосередньої взаємодії між ними (деформації їхніх поверхонь).

$$A_c = A_y + A_o \tag{9}$$

Звідси можна знайти, що

$$A_y = A_c - A_0 = A_c(1-\eta^*) = \frac{\bar{as}}{в}(e^{bx} - bx - 1)(1-\eta^*). \tag{10}$$

Вираз (10) може бути представлений через щільність

$$A_y = \frac{\bar{as}}{b}\left[e^{bH(1-\frac{\rho_0}{\rho})} - bH(1-\frac{\rho_0}{\rho}) - 1 \right](1-\eta^*) \quad , \tag{11}$$

де H – кінцева висота зразка при його деформуванні.

Якщо визначену з допомогою (11) роботу A_y поділити на початковий об'єм недеформованого зразка, то можна отримати питому роботу U ($U = 0{,}0539 \frac{Дж}{см^3}$), що витрачається на ущільнення одиниці його об'єму.

Висновки

Результати роботи вказують на наявність квазіупружних властивостей досліджуваного аналога реголіта, що необхідно враховувати при моделюванні систем «реголіт-робочий орган» та «реголіт-рушій» з метою отримання раціональних конструкцій машин та механізмів, пристосованих до умов експлуатації на поверхні Місяця.

Список літератури:

1. *В.В. Кованько, Н.Г. Лусюк, А.А. Комісарчук* Свойства лунного грунта и проблемы его разработки / Под ред. В.В. Кованько. – Львів.: «Евросвіт», 1998. – 180 с.
2. *И.И. Черкасов, В.В. Шварёв* Начало грунтоведения Луны. – Москва: Наука, 1971. – 180 с.
3. *И.И. Черкасов, В.В. Шварёв* Грунт Луны. – Москва: Наука, 1975. – 190 с.

УДК 681.2.088

В.Ф. Новиков (ГП "ГосККБ "Луч", Украина),
В.П. Квасников д.т.н., профессор (Национальный авиационный университет, Украина)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ПРИБОРАСИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИНИЦИИРОВАНИЯ В СОСТАВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Электрические средства инициирования (ЭСИ) широко применяются в системах автоматического пожаротушения помещений банков, библиотек, складов, энергетических установок на судах и в составе другого промышленного оборудования. ЭСИ в этом оборудовании используется в качестве исполнительного элемента высокого быстродействия, обеспечивающего незамедлительное включение системы пожаротушения.

Погрешность прибора систем функциональной диагностики ЭСИ обусловлена отклонениями ее определяющих параметров от номинальных значений вследствие воздействия дестабилизирующих факторов. К определяющим параметрам относятся контролируемые параметры входных и выходных сигналов системы. При этом номинальные значения каждого радио- и электроэлемента и их отклонения относятся к учитываемым параметрам радио- и электроэлемента. Для расчета погрешности прибора при нормальном законе распределения погрешности необходимы следующие исходные данные: условия эксплуатации системы; показатели долговечности системы (средний ресурс и средний срок службы); номинальные значения определяющих параметров системы и заданный предел допускаемой относительной или абсолютной погрешности; номинальные значения учитываемых параметров; отклонения учитываемых параметров при производстве, изменении температуры окружающей среды, старении, пайке и пр.; функции зависимости определяющих параметров системы от учитываемых параметров (т.е. от параметров комплектующих элементов) описываются выражением

$$Q = \varphi(q_1, q_2, ..., q_i, ..., q_n), \qquad (1)$$

где Q – определяющий параметр системы; q_i – учитываемый параметр i=1…n – количество учитываемых параметров.

Методическая погрешность системы обусловлена отличием расчетных значений определяющих параметров по функции (1) от заданных номинальных значений определяющих параметров.

Расчетные значения определяющих параметров системы по функции (1) рассчитываются при номинальных значениях учитываемых параметров.

Приращение функции (1) в зависимости от приращения аргументов $q_1, q_2, ..., q_n$ в небольших пределах определяется по методу линеаризации, т.е. разложения функции в ряд Тейлора и ограничения ряда первыми двумя членами. При этом суммирование превращений аргументов проводится с учетом того, что постоянные систематические погрешности суммируются алгебраически (с учетом знаков погрешностей); характеристики переменных систематических и случайных погрешностей (средние квадратические отклонения, пределы допустимых погрешностей) суммируются по квадратической сумме, а также с учетом коэффициентов A_s, B_i, C_i или D_i.

Коэффициент A_s – влияния относительного приращения аргумента (учитываемого параметра) на вызванное им относительное приращение функции (1) определяется по формуле:

$$A_i = \left(\frac{dQ}{dq_i} \cdot \frac{q_i}{Q} \right)_0 .$$

Индекс «0» означает, что вычисления проводятся при номинальных значениях аргументов и параметра Q.

Коэффициент B_i – влияние абсолютного приращения аргумента на вызванное им абсолютное приращение функции (1) определяется по формуле:

$$B_i = \left(\frac{dQ}{dq_i} \right)_0 .$$

Коэффициент C_i – влияние абсолютного приращения аргумента на относительное приращение функции (1) определяется по формуле:

$$C_i = \left(B_i \cdot \frac{1}{Q} \right)_0 .$$

Коэффициент D_i – влияние относительного приращения аргумента на абсолютное приращение функции (1) определяется по формуле:

$$D_i = \left(B_i \cdot q_i \right)_0 .$$

Погрешность системы определяется отклонениями его определяющих параметров от номинального значения. Предел допустимого относительного отклонения δQ параметра Q определяется по формуле:

$$\delta Q = \left| \sum_{i=1}^{n} (A_i \sum_{j=1}^{m} \delta q_{ij}^{'}) \vee (C_i \sum_{j=1}^{m} \Delta q_{ij}^{'}) + \sum_{l=1}^{N} \delta Q_{np,l}^{'} \right| +$$

$$+ \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (A_i^2 \sum_{j=1}^{m} K_{ij}^2 \delta q_{ij}^{"2}) \vee (C_i^2 \sum_{j=1}^{m} K_{ij}^2 \Delta q_{ij}^{"2}) + \sum_{l=1}^{N} K_l^2 \delta Q_{np,l}^{"2}} , \qquad (2)$$

где j – порядковый номер дестабилизирующего фактора; m – количество дестабилизирующих факторов; $\delta q_{ij}^{'}, \Delta q_{ij}^{'}$ – соответственно постоянная систематическая составляющая относительного и абсолютного отклонения *i*-го учитываемого параметра при воздействии *j*–го дестабилизирующего фактора; $\delta q_{ij}^{"}, \Delta q_{ij}^{"}$ – соответственно предел допустимой переменной систематической либо случайной составляющей относительного и абсолютного отклонения i-го учитываемого параметра при воздействии j–го дестабилизирующего фактора;

l – порядковый номер прочих частных погрешностей системы; N – количество прочих частных погрешностей системы; $\delta Q_{np,l}^{'}$ – постоянная систематическая составляющая l–й относительной погрешности; $\delta Q_{np,l}^{"}$ – предел допускаемой переменной систематической либо случайной составляющей l–й относительной погрешности; $\vee$ – логический знак «или».

Предел допустимого абсолютного отклонения ΔQ параметра Q определяется по формуле:

$$\Delta Q = \left| \sum_{i=1}^{n} (B_i \sum_{j=1}^{m} \Delta q_{ij}^{'}) \vee (D_i \sum_{j=1}^{m} \delta q_{ij}^{'}) + \sum_{l=1}^{N} \Delta Q_{np,l}^{'} \right| +$$

$$+ \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (B_i \sum_{j=1}^{m} K_{ij}^2 \Delta q_{ij}^{"2}) \vee (D_i^2 \sum_{j=1}^{m} K_{ij}^2 \delta q_{ij}^{"2}) + \sum_{l=1}^{N} K_l^2 \Delta Q_{np,l}^{"2}} , \qquad (3)$$

где $\Delta Q_{np,l}^{'}$ – постоянная систематическая составляющая l–й абсолютной погрешности; $\Delta Q_{np,l}^{"}$ – предел допускаемой переменной систематической либо случайной составляющей l–й абсолютной погрешности.

Если полученное в результате расчета значение δQ или ΔQ не удовлетворяет установленным требованиям (превышает установленный допуск параметра Q), то рассматриваются варианты изменений конструкции устройства (например, замены комплектующих изделий), обеспечивающих выполнение этих требований.

В качестве примера расчета определим погрешность коэффициента преобразования делителя напряжения, схема которого приведена на рис. 1.

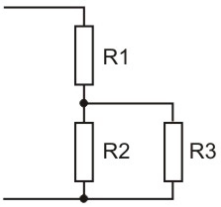


Рис. 1. Схема делителя напряжения

В качестве комплектующих электроэлементов использованы следующие сопротивления:

R1 – резистор ПТМН-0,5-2 кОм ± 0,5 %,

R2 – резистор ПТМН-0,5-1 кОм ± 0,5 %,

R3 – сопротивление нагрузки, R3 = 50 кОм ± 20 %.

Функция зависимости коэффициента преобразования делителя (определяющий параметр) от учитываемых параметров электроэлементов имеет вид:

$$\mathrm{K} = \frac{\mathrm{R2}\cdot\mathrm{R3}}{\mathrm{R1}\cdot\mathrm{R2}+\mathrm{R1}\cdot\mathrm{R3}+\mathrm{R2}\cdot\mathrm{R3}}.$$

Коэффициент влияния сопротивления резистора *R*1 на коэффициент преобразования равен:

$$\mathrm{A_{R1}} = \left[\frac{\mathrm{dK}}{\mathrm{dR1}}\cdot\frac{\mathrm{R1}}{\mathrm{K}}\right]_0 = \frac{-\mathrm{R1}(\mathrm{R2}+\mathrm{R3})}{\mathrm{R1}\cdot\mathrm{R2}+\mathrm{R1}\cdot\mathrm{R3}+\mathrm{R2}\cdot\mathrm{R3}} = -\frac{2(1+50)}{2\cdot1+2\cdot50+1\cdot50} = -0{,}67.$$

Коэффициент влияния сопротивления резистора *R*2 на коэффициент преобразования равен:

$$\mathrm{A_{R2}} = \left[\frac{\mathrm{dK}}{\mathrm{dR2}}\cdot\frac{\mathrm{R2}}{\mathrm{K}}\right]_0 = 1-\frac{\mathrm{R2}(\mathrm{R1}+\mathrm{R3})}{\mathrm{R1}\cdot\mathrm{R2}+\mathrm{R1}\cdot\mathrm{R3}+\mathrm{R2}\cdot\mathrm{R3}} = 1-\frac{1(2+50)}{2\cdot1+2\cdot50+1\cdot50} = 0{,}67.$$

Коэффициент влияния сопротивления резистора *R*3 на коэффициент преобразования равен:

$$\mathrm{A_{R3}} = \left[\frac{\mathrm{dK}}{\mathrm{dR3}}\cdot\frac{\mathrm{R3}}{\mathrm{K}}\right]_0 = 1-\frac{\mathrm{R3}(\mathrm{R1}+\mathrm{R2})}{\mathrm{R1}\cdot\mathrm{R2}+\mathrm{R1}\cdot\mathrm{R3}+\mathrm{R2}\cdot\mathrm{R3}} = 1-\frac{50(2+1)}{2\cdot1+2\cdot50+1\cdot50} = 0{,}013.$$

Производственная погрешность коэффициента преобразования равна:

$$\mathrm{dK^{П}} = \frac{1}{2}\left[0{,}67\cdot0{,}5+0{,}67\cdot0{,}5+0{,}013\cdot20+\sqrt{(0{,}67\cdot0{,}5)^2+(0{,}67\cdot0{,}5)^2+(0{,}013\cdot20)^2}\right] = 0{,}73\%.$$

Для определения температурной погрешности воспользуемся данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Погрешности параметров резисторов типа ПТМН

Тип резистора	Параметр q	Производственная погрешность $dq^{П}$, %	Температурная погрешность, % при - 10 °С		при + 65 °С		Погрешность старения, %		Ограничения
			dq^{t}_{0}	dq^{t}_{c}	dq^{t}_{0}	dq^{t}_{c}	dq^{τ}_{0}	dq^{τ}_{c}	
ПТМН-0,5	R	0,5 (по ТУ)	0,00	0,35	0,00	0,40	0,00	0,80	Сопр., Ом, ≤ 62
			0,00	0,53	0,00	0,60	0,00	0,80	Сопр., Ом, > 62

Тогда температурная погрешность при t = 65 °С равна

$$\mathrm{dK^{t}} = \mathrm{dK^{t}_{c}} = \sqrt{(0{,}67\cdot0{,}6)^2+(0{,}67\cdot0{,}6)^2} = 0{,}57\%,$$

а температурная погрешность при t = – 10 °С равна:

$$dK^t = dK_c^t = \sqrt{(0{,}67 \cdot 0{,}53)^2 + (0{,}67 \cdot 0{,}53)^2} = 0{,}50\% .$$

Следовательно, наибольшая погрешность $dK^t = 0{,}57$ %.

Для определения погрешности старения dK^τ также воспользуемся данными, приведенными в таблице 1. Тогда погрешность старения равна:

$$dK^\tau = dK_c^\tau = \sqrt{(0{,}67 \cdot 0{,}8)^2 + (0{,}67 \cdot 0{,}8)^2} = 0{,}75\%.$$

Суммарная погрешность коэффициента преобразования равна:

$$dK_\Sigma = \frac{0{,}73}{2} + \sqrt{(\frac{0{,}73}{2})^2 + (0{,}57)^2 + (0{,}75)^2} = 1{,}37\% .$$

При сравнении суммарной погрешности коэффициента преобразования с производственной погрешностью резисторов ПТМН, используемых в делителе напряжения, следует отметить, что суммарная погрешность коэффициента преобразования $dK_\Sigma \approx 3 \cdot dq^\Pi$.

Выводы

1 Предложена методика расчета погрешности проектируемых электрических и электронных схем функциональных узлов и приборов.

2 Приведена формула функциональной зависимости погрешности коэффициента преобразования от производственной погрешности комплектующих элементов.

Список литературы

1 *Белоконь Р.Н.* Об одном способе суммирования энтропийной погрешности / Р.Н. Белоконь, В.Н. Никольский // Общество «Знание» Украинской ССР, Методы исследования и обеспечения высокой точности и надежности современных приборов. – К., 1973.

2 *Белоконь Р.Н.* Статистические методы повышения достоверности контроля / Р.Н. Бело конь, В.Г. Кендель, А.М. Кузнецов – В книге «Вопросы обеспечения качества и надежности информационных систем». – К.: «Знание», 1977, С. 17.

3 *Белоконь Р.Н.* Оценка показателей достоверности контроля при многократной проверке с отбраковкой / Р.Н. Белоконь, А.М. Кузнецов, В.С. Новиков – В книге «Стабильность и надежность информационных устройств и систем». – К.: «Техніка», 1974, С. 7 – 10.

4 *Доценко Б.И.* Синтез характеристик измерителей систем диагностики / Б.И. Доценко // Надежность в приборостроении и радиоєлектронике. – К.: «Знание», 1974. – С. 31 – 32.

5 *Дунаев Б.Б.* Точность измерения при контроле качества / Б.Б. Дунаев. – К.: «Техника», 1981, С. 150.

УДК: 681.532.5(043.2)

М.А. Тимофієва, аспірантка,
(Національній авіаційний університет, Україна)

СИНТЕЗ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА ПРИВОДІВ КООРДИНАТНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ, ІНВАРІАНТНОГО ДО ПАРАМЕТРИЧНИХ ЗБУРЕНЬ

Запропоновано нечіткий регулятор, інваріантний до параметричних збурень, що дозволяє одержати високі якісні показники роботи приводів стосовно специфіки їх експлуатації у складі систем управління координатно-вимірювальними машинами.

Необхідність підвищення статичних і динамічних характеристик приводів координатної вимірювальної машини (КВМ) обумовлена вимогами, що пред'являються до них: забезпечення високої точності позиціонування робочого органу, реалізація якісних перехідних процесів, стійкість до дії на робочий орган зовнішніх збурень [1].

При синтезі регулятора необхідно забезпечити програмне переміщення вимірювального елементу з високими швидкостями при мінімальному відхиленні від заданої траєкторії, жорстке позиціонування при східчастому управлінні без прояву перерегулювання, високу чутливість при малих переміщеннях в зоні вимірювання [2].

Головною архітектурною властивістю системи інтелектуального управління, яка відрізняє інтелектуальну систему управління від побудованої за традиційною схемою, є введення механізмів зберігання обробки знань для реалізації здатностей по виконанню необхідних функцій у невизначених умовах при випадковому характері зовнішніх збурень.

До збурень такого роду можна віднести вібраційні процеси, температурні коливання та ін. Крім цього, склад системи при необхідності доповнюється засобами самонавчання, які забезпечують узагальнення накопичуваного досвіду і на цій основі – поповнення знань.

Об'єкти регулювання системи управління КВМ характеризуються істотною нелінійністю, наявністю запізнювань і значною інерційністю ланок регулювання. При цьому математичний опис таких систем можна виконати тільки в спрощеному вигляді, оскільки ряд параметрів не піддається контролю. Взаємодію між параметрами може бути выражено наближеною залежністю.

Нехай, даний процес описується у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t-\tau) + B(t)u(t) + G(t)w(t-\theta) + H(x(t)), \qquad (1)$$

де A – матриця системи; B – матриця управління; G – матриця збурень; H – нелінійність, що обумовлена деякими параметрами системи; x – координата стану системи; u – сигнал управління; w – дестабілізуючий вплив; τ – величина запізнювання, обумовлена внутрішніми параметрами об’єкта управління; θ – величина запізнювання, обумовлена зовнішніми збурюючими впливами.

Ряд параметрів об’єкта управління характеризується неповнотою і нечіткою інформацією, тому для таких систем управління доцільно використовувати нечітких підхід, тобто для формування необхідного закону управління використовуємо нечіткий логічний регулятор (НЛР) [3].

Функціонування НЛР за принципом Мамдані реалізується на основі наступних етапів: фазифікації, системи нечіткого логічного виводу, дефазифікації.

Визначенню підлягають параметри блока фазифікації (вигляд, число, розподілення функцій належності (ФН)), база знань (кількість, вид правил) і параметри блока дефазифікації.

Класичний підхід синтезу НЛР передбачає участь експерта у визначенні параметрів регулятора або використання ітераційного принципу їх знаходження.

Пропонується метод синтезу НЛР, що забезпечує автоматизацію процесу налаштовування одного з блоків регулятора.

Продукційні правила у випадку з n – вимірним входом і одновимірним виходом можуть бути представлені у вигляді [4]:

Посилка: ЯКЩО $x_1 \in A_1^m$ і … і $x_n \in A_n^m$.

Правило: ЯКЩО $x_1 \in A_1^1$ і … і $x_n \in A_n^1$, ТО $u \in B^1$.

Висновок: $u \in B^1$,

де $[x_1, x_2, ..., x_n]^T = \overline{x}$ – вектор вхідного сигналу; u – скалярна величина сигналу управління. X_i – універсум для кожної лінгвістичної змінної x_i, U – універсум u.

Позначивши значення i-х лінгвістичних змінних x_i і u через A_i^j і B^j, де $j = \overline{1,m}$ відповідно, отримуємо значення ФН:

$$\mu_{A_i^j}(x): X_i \to [0,1] \text{ і } \mu_{B^j}(u): U \to [0,1].$$

Нечітке відношення для кожного продукційного правила визначається наступним чином:

$$(A_1^j \text{ і } A_2^j \text{ і} ... \text{і } A_n^j) \to B^j,$$

$$\mu_{R^j}(x_1, x_2, ..., x_n, u) = \mu_{A_1^j}(x_1)\mu_{A_2^j}(x_2)... \mu_{A_n^j}(x_n)\mu_{B^j}(u).$$

Нечітке відношення R для m правил визначається згідно виразу

$$\mu_R(x_1, x_2, ..., x_n, u) = \max_{j=1}^{m} \mu_{R^j}(x_1, x_2, ..., x_n, u).$$

У випадку коли лінгвістичні змінні вхідного сигналу x_i приймають нечіткі множини A_i', $i = \overline{1,n}$, нечітка множина B' лінгвістичної змінної сигналу управління визначається за допомогою нечіткої імплікації.

Функція належності для B' має вигляд:

$$\mu_{B'}(u) = \max_{x_1, x_2, ..., x_n} \left\{ \left[\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i'}(x_i) \right] \cdot \left[\max_{j=1}^{n} \left[\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^j}(x_i) \right] \cdot \mu_{B^j} \right] \right\}.$$

Нехай нечіткі підмножини B^j мають вигляд:

$$\mu_{B'}(u) = \begin{cases} 1, & u = \lambda^j, \\ 0, & u \neq \lambda^j, \end{cases}$$

де λ^j – дискретні чисельні значення вихідного сигналу.

Тоді з врахуванням цього:

$$\mu_{B'}(u) = \begin{cases} \prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^j}(x_i), & u = \lambda^j, \\ 0, & u \neq \lambda^j. \end{cases}$$

На етапі дефазифікації при використанні метода центральної площі, отримаємо вираз, що визначає значення вихідного сигналу:

$$u = \frac{\sum_{j=1}^{m} \lambda^j \left[\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^j}(x_i) \right]}{\sum_{j=1}^{m} \prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^j}(x_i)}.$$

Позначимо $\varsigma_j(\bar{x}) = \dfrac{\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^j}(x_i)}{\sum_{j=1}^{m}\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^j}(x_i)}$,

тоді формула визначення вихідного сигналу НЛР буде мати вигляд:

$$u(\bar{x},\bar{\lambda}) = \sum_{j=1}^{m} \lambda^j \varsigma_j(\bar{x}) = \lambda^{-T}\varsigma(\bar{x}).$$

Таким чином, НЛР може бути описаний у вигляді добутку двох функцій, що визначаються видом і розподіленням по діапазону регулювання ФН та обраним алгоритмом нечіткого виводу.

Нехай об'єкт управління описується спрощеними математичними виразами і відомі критерії оптимізації, тоді можна знайти вираз для бажаного керуючого впливу, що забезпечує необхідні показники якості.

В загальному вигляді функціонал якості, на основі якого може бути отриманий управляючий вплив, має вигляд:

$$J = \int_0^{\infty} \left[l^2 \varphi^2(\eta) + h^2 \eta^2(t) \right] dt,$$

де l, h – постійні коефіцієнти; $\eta(t)$ – довільна диференційована або частково-неперервна функція і $\eta(0) = 0$; $\varphi(\eta)$ – однозначна, неперервна, диференційована $\forall\eta$ функція, причому $\varphi(0) = 0$ і $\varphi(\eta),\cdot\eta < 0$ при $\forall\eta \neq 0$.

Мінімізація даного функціоналу потребує від НЛР реалізації вихідного сигналу виду:

$$u = -\frac{1}{b}\left[\frac{\partial\eta(\bar{x})}{\partial x_n}\right]^{-1}\left[\frac{1}{T}\varphi(\eta) + \sum_{k=1}^{n}\frac{\partial\eta(\bar{x})}{\partial x_k} f_k(\bar{x})\right].$$

Якщо вважати базу знань повну і несуперечливу, то НЛР дозволяє реалізувати закон управління, що максимально наближений до необхідного та залежить від $\bar{\lambda}$ і $\varsigma(\bar{x})$.

При $\bar{\lambda} = \text{const}$ синтез НЛР зводиться до оптимального розподілення ФН при їх фіксованому числі.

Задача синтезу полягає в знаходженні такого виду і форми ФН, які при приведених вище припущеннях забезпечили на основі прийнятого алгоритму нечіткого виводу необхідний вид управляючого впливу. При відомому управляючому впливі, заданому вхідному сигналі регулювання задачею є знаходженні бажаної функції відображення.

Для пошуку функції відображення ведемо наступні обмеження. Будемо вважати, що реалізація бажаного закону управління здійснюється за одним вхідним сигналом НЛР. Другий вхідний сигнал НЛР може бути враховано згодом як корегуючий. Вид динамічних перехідних характеристик зведемо до двох типів – аперіодичного і коливального.

Таким чином, координатами вершин терм-множин вхідної змінної є:

– абсциси, отримані за формулою

$$\begin{cases} x = x_1 \cdot \cos(-\dfrac{\pi}{4}) + y_1 \cdot \sin(-\dfrac{\pi}{4}), \\ y = -x_1 \cdot \sin(-\dfrac{\pi}{4}) + y_1 \cdot \sin(-\dfrac{\pi}{4}). \end{cases}$$

– абсциси крайньої правої і лівої точок кожної однозначної ділянки статичної характеристики.

Розміщення границь інтервалу-носія відповідної терм-множини обирається таким чином, щоби вони відповідали вершинам сусідніх терм-множин. У випадку крайніх терм-множин границя інтервалу обирається таким чином, щоб множина була симетричною. Якщо статична характеристика нелінійного елемента має лінійні ділянки (паралельні осі абсцис на

перетвореній статичній характеристиці) в області крайніх вхідних терм-множин, ці множини можна зробити Z- і S-образного виду.

Даний підхід дозволить скоротити кількість вхідних функцій належності і, як наслідок, вихідних і об’єм бази знань. Таким чином, збільшиться швидкодія нечіткого логічного регулятора і спроститься його технічна реалізація.

Для доказу правильності викладеного промодельовано перехідні процеси в системах регулювання, об’єкти управління яких описуються коливальними і аперіодичними законами при стандартному рівномірному розподілі ФН і синтезованому за допомогою розглянутого вище методу (рис. 1, 2).

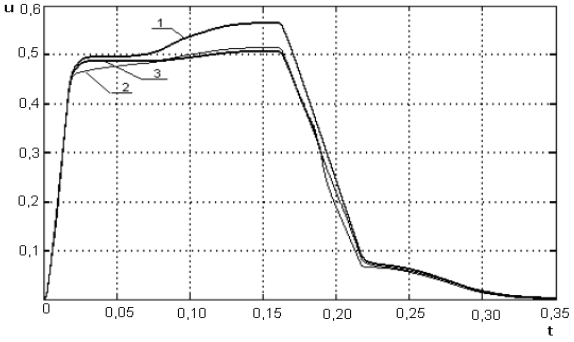


Рис. 1. Перехідні процеси: 1 – система без НЛР; 2 – система з НЛР і рівномірно розподіленими ФН; 3 – система з НЛР і ФН, що розподілені за представленим методом

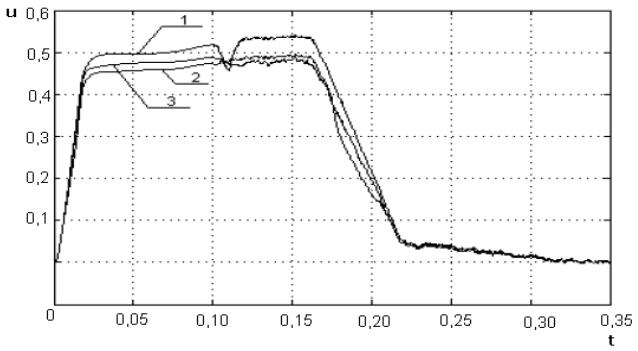


Рис. 2. Перехідні процеси при подачі зовнішнього збурення: 1 – система без НЛР; 2 – система з НЛР і рівномірно розподіленими ФН; 3 – система з НЛР і ФН, що розподілені за представленим методом

На рис. 2 розглядається лінійний стаціонарний об'єкт управління, а на рис. 3– цей же об'єкт, але вже з урахуванням нелінійності і не стаціонарності його параметрів, а також за наявності в системі дестабілізуючих впливів.

Моделювання нечіткої системи управління вимірювальним процесом, синтезованим за запропонованим методом і регулятором з рівномірно розподіленими ФН при повній базі знань показав, що даний метод дійсно дозволяє підвищити якість регулювання. В приведених графіках видно зниження величини розузгодження. Крім того, дослідження даної системи при зміні параметрів об'єкту регулювання не робить істотного впливу на вихідні характеристики системи.

Висновки

При використовуванні нечіткого логічного регулятора з рівномірним розподілом функцій належності даний діапазон адаптації нечіткої системи звужується до 8-10%. Крім того, оптимальний розподіл функцій належності в блоках фазифікації і дефазифікації дозволяє істотно скоротити об'єм бази знань шляхом виключення з неї правил, що суттєво не впливають на вихідні характеристики нечіткого логічного регулятора.

Список літератури

1. Координатные измерительные машины и их применение / [А.А. Гапшис, А.Ю. Каспарайтис, М.Б. Модестов та ін.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.

2. *Макаров И.М.* Новое поколение интеллектуальных регуляторов / И.М. Макаров, В.М. Лохин, Д.М. Еремин и др. // Приборы и системы управления. – 1997. – № 3. – С. 2–6.

3. *Усков А.А.* Принципы построения систем управления с нечеткой логикой / А.А. Усков // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – №6. – С. 7-13.

4. *Mamdani E.* An experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller / E. Mamdani , S. Assilian // Int. J. Man–Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. – №1. – P. 1–13.

УДК 543.544.152

С.П. Ярмоленко, А.Л. Передерко, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПОХИБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ У ГАЗОВІЙ ХРОМАТОГРАФІЇ

Хроматографічні методи аналізу ґрунтуються на різноманітних фізичних і хімічних процесах, які дають змогу розв'язувати складні аналітичні задачі розділення та наступного визначення малих концентрацій близьких за хімічними властивостями речовин. Такі аналітичні проблеми іншими методами вирішувати важко, а часто – просто неможливо. Щоб вирішити цю проблему, необхідно не тільки вдосконалення хроматографів та їх програмного забезпечення не тільки для керування хроматографічним процесом, а й обробки результатів вимірювань.

Ефективність розділення речовин за *лінійної неідеальної* хроматографії залежить від багатьох факторів, зокрема від термодинамічних (коефіцієнти розподілу), кінетичних (дифузія молекул у рухомій та нерухомій фазах), динамічних (швидкість потоку рухомої фази, розмір зерен сорбенту та щільність його упакування, розміри колонки тощо). Задовільний опис процесу хроматографічного розділення речовин у цьому разі можна отримати, поєднавши окремі положення теорії еквівалентних тарілок, а саме на дифузної теорії Ван Деємтера.

Розглядаючи хроматографічний процес аналогічно процесу ректифікації, колонку умовно розділяють на окремі послідовні ступені – тарілки, крізь які рухома фаза проходить переривчастими порціями. При цьому, під час кожного "поштовху" на відповідній тарілці встановлюється рівновага розподілу адсорбату між нерухомою і рухомою фазами і кількість адсорбату на початкових тарілках зменшується, а на наступних – відповідно зростає. У результаті такого переміщення і перерозподілу адсорбат опиняється на декількох тарілках із максимальною концентрацією на середніх із них. Відбувається "розмивання" адсорбату на декількох тарілках, і розподіл його концентрації на виході з колони набуває вигляду кривої розподілу Гауса.

Ефективність роботи хроматографічної колонки характеризується числом *теоретичних тарілок N,* числом теоретичних тарілок N_{ef} та висотою H*,* еквівалентною теоретичній тарілці (ВЕТТ).

У теорії еквівалентних тарілок прийнято, що під час елюювання на кожній тарілці встановлюється рівновага розподілу сорбату між рухомою і нерухомою фазами. Однак динамічних умовах рівновага розподілу сорбату між фазами не встановлюється, і на розмивання хроматографічної зони впливає також дифузія молекул сорбату в рухомій фазі, у порах сорбенту та інші складні процеси масообміну. Врахувавши ці фактори, Ван *Деємтер* запропонував рівняння, яке пов'язує ВЕТТ (H) з лінійною швидкістю (U) потоку рухомої фази:

$$H = A + \frac{B}{U} + CU \qquad (1)$$

У цьому рівнянні коефіцієнтом A виражають вихрову дифузію. У набивній колонці молекули рухаються між зернами сорбенту складними траєкторіями, які мають різну довжину. Молекули виходять із колонки в різний час, внаслідок чого відбувається розмивання смуги. Вихрова дифузія не залежить від швидкості потоку рухомої фази, але залежить від розміру часточок сорбенту та щільності їх упакування. Чим менші часточки нерухомої фази й більш однорідне заповнення колонки, тим менший коефіцієнт *A,* тим менше розмивання внаслідок вихрової дифузії.

Коефіцієнт B виражає поздовжню дифузію. Якщо деякий компонент певної концентрації ввести всередину довгої трубки, заповненої рідиною або газом, то він повільно дифундуватиме у напрямку обох кінців трубки. Внаслідок дифузії через певний проміжок часу компонент рівномірно розподілиться по всій довжині трубки. Цей останній ефект у хроматографії ніколи не реалізується, однак початкова стадія дифузного розмивання смуги у рухомій фазі має місце. Це розмивання пропорційне часу перебування компонента у рухомій

фазі. Розширення смуги обернено пропорційне швидкості. Зниження швидкості потоку призводить до розмивання. Така дифузія має більше значення, якщо рухома фаза – газ, оскільки швидкість дифузії у газах на декілька порядків вища, ніж у рідинах.

Коефіцієнт С виражає опір масопередачі у двох фазах. У процесі руху зони компонента крізь колонку його молекули безперервно переносяться з рухомої фази в нерухому і назад. Цей процес відбувається не миттєво, оскільки для переносу молекул крізь рухому фазу до поверхні нерухомої фази, можуть проникнути до неї майже відразу, тоді нерухомої фази за значно триваліший час, тобто далі за напрямком руху рухомої фази. У результаті такого уповільненого переносу частини молекул крізь нерухому фазу відбувається розмивання зони, яке називають розмиванням через опір масо передачі у рухомій фазі. Молекули, які дифундують у рухомій фазі на більшу відстань, випереджують молекули, які не відходять від поверхні нерухомої фази. Опір масо передачі спостерігається в обох фазах і пов'язаний зі швидкістю рухомої фази більше молекул встигає сорбуватися на вузькій ділянці сорбенту, тим менше розмивання. Чим менший діаметр зерна сорбенту або менша товщина плівки рідкої нерухомої фази, тим менший опір масо передачі у ній, тим менше розмивання.

Залежність (1) графічно зображена на рис. 1, з якого видно, що існує оптимальна швидкість потоку рухомої фази, за якої встановлюється мінімальне значенні *BETT* , тобто максимальна ефективність визначити експериментально або обчислити теоретично важко, а іноді практично неможливо. Тому оптимальну швидкість потоку рухомої фази знаходять на підставі визначенні залежності H від U на даній колонці для будь-якої системи "сорбент-сорбат" (N і H мало залежить від природи взаємодії між сорбентом і сорбатом).

У капілярних колонках, де нерухома фаза нанесена тонким шаром або закріплена на внутрішніх стінках капіляру, вихрова дифузія відсутня, внаслідок чого капілярні колонки ефективніші за набивні.

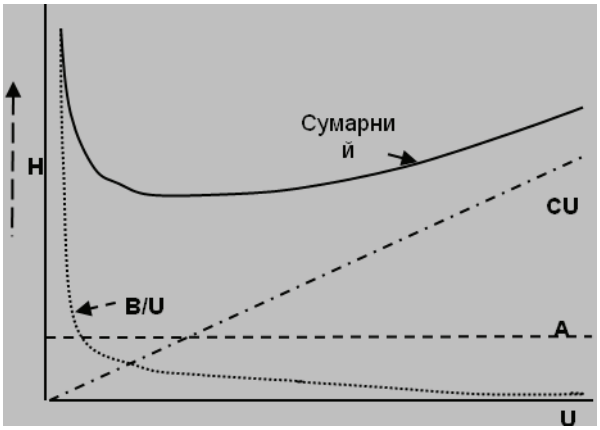


Рис. 1а Вплив коефіцієнтів рівняння Ван Деємтера на залежність висоти *H*, еквівалентної теоретичній тарілці, від лінійної швидкості потоку *U* рухомої фази (елюенту)

Слід зазначити, що за великих швидкостей потоку рухомої фази в рідинній адсорбційній хроматографії ("високошвидкісна хроматографія") величина H залежить в основному від доданків A та CU в рівнянні (1), тому підвищення U призводить до безперервного збільшення H, тобто до зменшення ефективності роботи хроматографічної колонки.

Похибкою вимірювань називається відхилення результату виміру від щирого значення вимірюваної фізичної величини. Тому що істене значення вимірюваної величини невідомо, те при кількісній оцінці погрішності користуються дійсним значенням фізичної величини. Це значення перебуває експериментальним шляхом і настільки близько до істинного значення, що для поставленої задачі може бути використане замість нього.

По способу кількісного вираження погрішності вимірювання діляться на абсолютні, відносні й наведені. Абсолютною погрішністю Δ, що виражається в одиницях вимірюваної

величини, називається відхилення результату виміру *X* від щирого значення $X_и$, або $X_д$, т. е $\Delta = X_{вим.} - X_д$;

По характеру (закономірності) зміни погрішності вимірів підрозділяються на систематичні, випадкові й грубі (промахи).

Установлення числа спостережень при вимірах: не слід дорівнювати (ототожнювати) поняття результат виміру зі спостереженням при вимірі. Спостереження при вимірі - експериментальна операція, виконувана в процесі вимірів, у результаті якої одержують одне значення величини (відлік) - результат спостереження, підлягає обробці для одержання результату виміру. Тому результат виміру розрахункова величина.

У процесі виміру, одержуючи результати спостережень, в оператора завжди присутні два види погрішностей, що проявляються одночасно у формі суми: - $\Delta = \Theta + S(x)$; або $\Delta = \theta + \sigma$; де перша складова суми це систематична погрішність, а друга – випадкова погрішність. Таким чином, при вимірах, показання СИ при будь-яких спостереженнях можна представити як вираження із трьох визначень: $X_{вим.} = X_д + \Theta + S(x)$.

Розрізняють виміри з однократними й багаторазовими спостереженнями. Найпоширеніші (у виробництві) виміру з однократними спостереженнями. Це обумовлено обставинами експериментальної або виробничої необхідності (руйнування об'єкта виміру в процесі спостереження, неможливість повторення спостереження, економічною доцільністю й т.д.), а також, можливістю зневажити випадковими погрішностями, ситуаціями, коли випадкові погрішності домінують, але довірча границя погрішності результату виміру з однократним спостереженням не перевищує припустиму погрішність вимірів. Випадкову погрішність вважають дуже малою в порівнянні із систематичної (невиключеною остачею систематичної погрішності - НСП) - старий термін. Термін по РМГ 29 - 99, НСП - невиключена систематична погрішність.

Висновки

Границя НСП у практиці користування СИ часто важко визначна, тим більше, коли треба визначитися з тим поняттям - однократний або багаторазовий вимір необхідно зробити от зараз у даному, конкретному випадку. У таких випадках два - три спостереження при вимірах, що мають різні значення й представляють причини для границь довірчої погрішності, залежно від граничних погрішностей методу виміру, що був вами обраний, граничних погрішностей СИ, граничних погрішностей робочих еталонів. Всі ці складові систематичних погрішностей входять у позначення як N - число що складають і, згідно РМГ 29 - 99, визначення НСП виконується по формулах (2) і (3)

$$\Theta = \pm \sum_{i=1}^{N} I\Theta_i I , \qquad (2)$$

де Θi - границя і - й складової невиключеної систематичної погрішності при $N \le 3$;
N - число доданків, що складаються з меж допускаємих основних і додаткових погрішностей СИ, робочих еталонів і т.д.

Для підвищення надійності таких вимірів, крім промахів, роблять два або три спостереження, і за результат вимірів приймають середнє арифметичне значення результатів цих спостережень.

Список літератури

1. *Лисенко О.М.* Хроматографічний аналіз / О.М. Лисенко, Б.Й. Набиванець – К.: 2005. 186 с.
2. *Третьяк Л.Н.* Обработка результатов измерений / Л.Н. Третьяк– Оренбург.: 2004. 178с.

UDC 681.2.089

T. Pyrog, postgraduate student, A. Pyrog
(National Aviation University, Ukraine)

CALIBRATION TECHNIQUE OF LASER TRIANGULATION SENSORS FOR INTEGRATION IN ROBOT ARMS

Coordinate measuring machines (CMM) are essential for quality assurance and production control in modern manufacturing. Due to the necessity of assuring traceability during the use of CMM, interim checks with calibrated objects carried out periodically. The paper describes a technology for calibration of a laser triangulation sensor which intergraded in articulated arm in coordinate measuring machine.

1. Introduction. Laser triangulation sensors (LTSs), able to obtain 3D coordinates from the projection of laser line onto the surface to be measured, are based on the triangulation principle and mainly composed of camera and laser diode with a cylindrical lens capable of projecting a plane. This way, it is possible to reconstruct X, Y, Z coordinates corresponding to the laser line points by combining information provided by the laser plane intersection with the surface to be measured and the camera perspective transformation matrix obtained during the sensor calibration.

The rapid integration of this type of 3D sensor in metrology equipment over recent years has been accompanied by a lack of standardization regarding their calibration procedures. For this reason different manufacturers have developed their own calibration procedures. In particular, LTSs are nowadays the most commonly used non-contact sensors in traditional dimensional metrology equipment such as CMMs or articulated arm coordinate measuring machine (AACMMs).

This is due to their versatility and the fact that they are one of the most accurate structured light contactless measurement sensors, providing suitable accuracy values for most reverse engineering applications although, in general, these are not sufficient for metrological inspection tasks.

AACMM applications with integrated laser sensors are, nowadays, mainly focused on the automotive, aeronautics and moulds sectors, and applications related to heritage conservation and general measurements of industrial components.

2. LTS Calibration. The calibration method presented in this section performs the intrinsic and extrinsic calibration of the sensor in a single step, so it is not necessary to have the LTS previously calibrated. Furthermore, it is based on the capture of an image of a gauge object in a single AACMM position, so the error influence of the arm due to the error made during the scan paths is avoided, absorbing only the measurement error in the contact measurement procedure of the gauge object and the error in the AACMM capture position of the image for calibration.

In the current integration procedures based on error optimization over digitalized data, once the LTS intrinsic calibration has been done on a CMM, due to the point reconstruction process nature used in the LTS model, only points belonging to the captured laser line are known in the LTS frame when the LTS is linked to the arm. Thus, the coordinates of these points in the AACMM global frame cannot be obtained in this situation. In order to avoid approximate optimization procedures so as to determine the sensor position and orientation in AACMM coordinate system, it is necessary to do the LTS intrinsic calibration once it is already mounted onto the AACMM, when the camera gauge object point coordinates can be known in the LTS frame.

Equation 1 represents the equation of a straight line in the space which connects the point in the 3D global reference system with the point in the image.

$$\left\{\begin{array}{l} m_{11}\cdot X_W + m_{12}\cdot Y_W + m_{13}\cdot Z_W - m_{31}\cdot u\cdot X_W - m_{32}\cdot u\cdot Y_W - m_{33}\cdot u\cdot Z_W - u\cdot m_{34} + m_{14} = 0 \\ m_{21}\cdot X_W + m_{22}\cdot Y_W + m_{23}\cdot Z_W - m_{31}\cdot u\cdot X_W - m_{32}\cdot u\cdot Y_W - m_{33}\cdot u\cdot Z_W - u\cdot m_{34} + m_{24} = 0 \end{array}\right\} \quad (1)$$

Equation (1) defines a system of two equations with three variables. This is the reason why more information is necessary to obtain the required coordinates. Once the camera is modelled, its later calibration will provide the values of the m_{ij} coefficients of the perspective transformation matrix. LTS calibration implies the determination of the *intrinsic and extrinsic parameters* of the camera, and therefore the terms of the perspective transformation matrix of Equation (1) expressed in its coordinate system. The terms of the laser plane equation in this coordinate system, shown in Equation (1), are also obtained during LTS calibration.

The laser plane is modelled by the general equation of a plane expressed in the global coordinate system:

$$cAX_W + cBY_W + cCZ_W + cD = 0 \tag{2}$$

The laser plane contributes with the additional information necessary to complete the equation of the straight line of the camera model and to achieve a system of three equations with three variables for each identified point, so that their 3D global coordinates can be extracted from their 2D screen coordinates u, v. (Figure 1).

Image of the calibration object is captured with the LTS in a single AACMM posture. This image, as can be appreciated in Figure 2, must contain the points of the gauge object and the laser line corresponding to the intersection of the LTS plane with the object. From the captured image it is possible to determine the image coordinates u, v in pixels, corresponding to the centre of each one of the object points by means of centroid calculation.

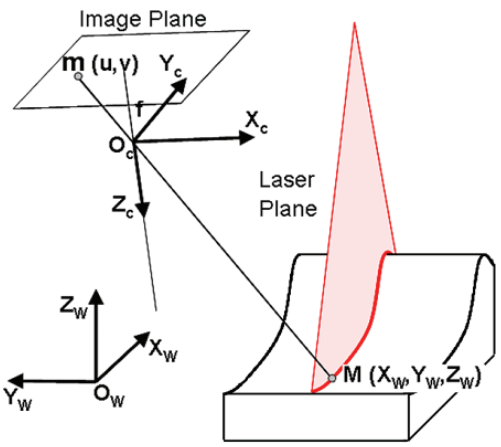


Figure 1. The global coordinates of a point M in the laser line image are computed from camera model and laser plane equation.

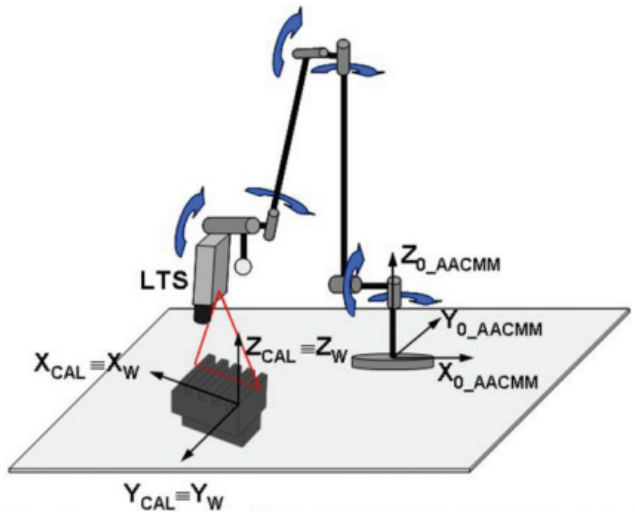


Figure 2. Image capture for LTS intrinsic calibration in AACMM calibration position.

The perspective transformation matrix being homogenous, the solution is modified by a scale factor, reason why the condition $m_{34} = 1$ is imposed, considering that this term is not null since t_z contains the term corresponding to the camera coordinate system translation to the LTS global coordinate system. It is possible to obtain the subsequent scale factor to be applied on the obtained matrix forcing the vector formed by the three first components of the last row of the matrix to be unitary. This scale factor will match with the translation t_z. In these conditions it is possible to write in matrix form the equations obtained according to Equation (1) for each considered calibration point, obtaining a system of equations in the form of Equation (3):

$$Am = 0, \tag{3}$$

where,

$$A=\begin{bmatrix} X_{Wi} & Y_{Wi} & Z_{Wi} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_iX_{Wi} & -u_iY_{Wi} & -u_iZ_{Wi} & -u_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_{Wi} & Y_{Wi} & Y_{Wi} & 1 & -v_iX_{Wi} & -v_iY_{Wi} & -v_iZ_{Wi} & -v_i \\ X_{Wi+1} & Y_{Wi+1} & Z_{Wi+1} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_{i+1}X_{Wi+1} & -u_{i+1}Y_{Wi+1} & -u_{i+1}Z_{Wi+1} & -u_{i+1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_{Wi+1} & Y_{Wi+1} & Z_{Wi+1} & 1 & -v_{i+1}X_{Wi+1} & -v_{i+1}Y_{Wi+1} & -v_{i+1}Z_{Wi+1} & -u_{i+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{Wn} & Y_{Wn} & Z_{Wn} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_nX_{Wn} & -u_nY_{Wn} & -u_nZ_{Wn} & -u_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_{Wn} & Y_{Wn} & Z_{Wn} & 1 & -v_nX_{Wn} & -v_nY_{Wn} & -v_nZ_{Wn} & -v_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

and

$$m=\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} & m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

LTS calibration, in addition to giving the camera intrinsic parameters, defines the position and orientation of the sensor global coordinate system. In this way, by means of this calibration, the sensor global coordinate system is defined coincident with the gauge object local coordinate system in which are known the 3D point coordinates.

Finally, in the subsequent LTS operation, the information provided by the laser plane complements Equation (1) and allows the reconstruction of the 3D global coordinate system by means of Equation (6) applied to each point, from the screen coordinates u, v after the identification of the points in the image:

$$\begin{bmatrix} m_{11}-m_{13}\cdot u & m_{12}-m_{32}\cdot u & m_{13}-m_{33}\cdot u \\ m_{21}-m_{31}\cdot v & m_{22}-m_{32}\cdot v & m_{23}-m_{33}\cdot v \\ cA & cB & cC \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -u+m_{14} \\ -v+m_{24} \\ cD \end{bmatrix} \quad (6)$$

It is necessary to note that the sensor calibration has been shown without considering distortion effects on the reconstructed points. These effects are very low in the modelled sensor because the capture distance to the surface only allows the capture of points in the range of ±5 mm around the central line of the captured image, where the distortion effects are minimum. In order to verify distortion effects on the reconstructed points, the calculation of the screen coordinates corresponding to the gauge object points after the calibration has been made, obtaining mean values of 0.224 pixels in maximum error for the u coordinate and 0.233 for the v coordinate in several calibration tests.

2. AACMM-LTS extrinsic calibration. Once the sensor calibration from the captured image has been done, not only the laser line points but also the calibration object points coordinates are known in the LTS global frame. This calibration defines the sensor global reference system that matches the gauge object local coordinate system for the position of image capture. In this way, the matrix that relates the sensor global coordinate system to the AACMM global coordinate system for the AACMM capture image position is the transformation matrix obtained by contact measurement of the gauge object in Equation (3). Rewriting this equation, the expression of Equation (7) is obtained, valid only for the AACMM and LTS position and orientation used in the image capture:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}_{0_AACMM} = {}^{AACMM}M_{W_LST}\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}_{W_LTS} \quad (7)$$

where ${}^{AACMM}M_{W_LST} = {}^{AACMM}M_{CAL}$.

With Equation (7), laser line points can now be obtained in the AACMM global frame for the calibration position. The matrix that makes this link is ${}^{6_AACMM}M_{0_AACMM}$ that will coincide

with the inverse matrix of the product of matrices A_1 to A_6 of Equation (3) corresponding to the AACMM position during calibration image capture. Thereby, it is possible to calculate the desired homogeneous transformation matrix, which will obtain laser line point coordinates related to the last AACMM joint frame for the calibration position:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}_{6_AACMM} = ({}^{0}T_{6})^{-1}_{Calibration_pos} \cdot ({}^{AACMM}M_{W_LST})_{Calibration_pos} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}_{W_LTS} \quad (8)$$

With this, it is possible to define the desired matrix by means of Equation (8). This matrix contains the sensor extrinsic parameters that determine the position and orientation of the sensor global coordinate system with respect to the last coordinate system of the kinematics chain of the arm.

Finally, it will be necessary to apply the AACMM model with the current position j geometric parameter values to obtain the captured laser line coordinates in any AACMM position, as shown in Equation (9):

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}_{0_AACMM} = ({}^{0}T_{6})_{j} \cdot M_{LTS_Probe} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}_{W_LTS} \quad (9)$$

where the vector $[x_i \quad y_i \quad z_i \quad 1]^T_{W_LTS} = [X_{Wi} \quad Y_{Wi} \quad Z_{Wi} \quad 1]^T$ is calculated in Equation (6) for each identified point of the laser line in the image. Matrix M_{LTS_Probe}, obtained in Equation (10), has been called the "probe matrix", since integration of both mathematical models produces one more link in the AACMM kinematics chain, replacing the contact probe sphere centre by laser line points related to the LTS global reference frame.

Conclusions

This paper presents an intrinsic and extrinsic LTS-AACMM calibration method, the calibration procedure being performed in a single step with the LTS already mounted in the AACMM, with no need to previously characterize the LTS-Contact probe set geometry by means of calibration methods on CMM. This method is based on the continuous capture of arm positions by directly probing the centre of the spheres of a gauge ball bar by way of a self-centring kinematics coupling probe. Oppositely, current methods are based on the capture of identification data probing surface points of geometrical primitives of different gauge objects.

References

1. *J.J. Aguilar; J. Santolaria, D. Guillomia, C. Cajal, J.A. Albajez.* Modeling and Calibration Technique of Laser Triangulation Sensors for Integration in Robot Arms and Articulated Arm Coordinate Measuring Mechines. Sensors 2009, 9, 7375–7396.

2. *J.J. Aguilar, J. Santolaria, D. Guillomia, J. Pastor, C. Cajal.* Accuracy analysis of laser scanning probes used in coordinate measurement: Simulation and experiments. VDI Berichte 2004, 1860, 739–744.

3. *J.J. Aguilar; J. Santolaria, D. Guillomia, C. Cajal, J.A. Albajez*. Aguilar State-of-the-art and applications of 3D imaging sensors in industry, cultural heritage, medicine, and criminal investigation. Sensors 2009, 9, 568–601

УДК: 681

О.П. Сташинський, аспірант,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТРЕНАЖЕРА ОПЕРАТИВНИХ ДІЙ ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО ПЕРСОНАЛУ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

В статті розглядається проблема ефективності впровадження тренажера оперативних дій для диспетчерського персоналу газотранспортного підприємства. Розкривається сутність моделювання технологічних процесів що мають місце при експлуатації магістральних газопроводів. Наголошується, що використання тренажера сприяє формуванню практичних навичок, підвищенню упевненості і професійного рівня спеціалістів.

Технологічні процеси на більшості сучасних підприємств відбуваються під безпосереднім «наглядом» впроваджених ефективних систем автоматизації виробничих процесів. Проте, це ніяк не занижує міру відповідальності оперативно-диспетчерського персоналу, робота котрих полягає в миттєвому прийнятті вірного рішення. Особливо це стосується надзвичайних ситуацій, коли від дій оператора і загальної злагодженої роботи колективу залежить швидкість і правильність ліквідації великих аварій, а також завчасне передбачення їх виникнення. Ефективним засобом навчання диспетчерів є тренажерні системи, інтерфейс яких наближений до реальних систем управління. Працюючи в звичному для себе середовищі і зводячи свої навики до автоматизму, диспетчер з легкістю переносить їх на реальну систему управління. Навчаючись правильним діям в різних штатних і нештатних ситуаціях, фахівці не лише підвищують свою кваліфікацію, але і набувають тієї міри психологічної упевненості, яка допоможе їм впоратися з будь-якими несподіванками. Організовуючи регулярні курси навчання і перевірки знань, керівництво підприємств підвищує кваліфікацію своїх співробітників, знижує ризик виникнення аварійної ситуації, мінімізує виробничі втрати при їх локалізації.

В сучасній навчальній практиці комп'ютерні тренажери стають все більш розповсюдженими і більш доступними засобами для професійної підготовки спеціалістів різного рівня кваліфікації [1]. Широкі мультимедійні можливості в поєднанні з відносно низькими фінансовими затратами роблять цей напрямок досить привабливим як для підприємств так і для технічних університетів. Розробка комп'ютерних тренажерів з використанням мультимедійних технологій дає можливість реалізувати різні по складності експерименти з обладнанням та відтворити методики обробки різного роду нештатних ситуацій. Використання мультимедійних технологій і сценарних моделей представлення знань предметної області, дозволяє запропонувати рішення для проектування і створення ефективних тренажерних комплексів, які володіють рядом інтелектуальних функцій і засновані на моделях поведінки і сприйняття користувача.

В залежності від принципів, закладених в основу сценарію розвитку якоїсь події, при навчанні за допомогою тренажера можливе досягнення різних цілей: придбання емпіричних знань і навичок, апробація теоретичних знань, трансформація чужого досвіду у власний. Традиційно тренажери відносяться до засобів, призначених для обробки практичних навиків з комплексом технічних засобів і закріплення деяких професійних умінь [2]. Одним із головних завдань, при створенні тренажера, що в результаті визначає його ефективність, являється представлення навчальної інформації у вигляді образів адекватних реальним об'єктам і з врахуванням індивідуальних особливостей механізмів сприйняття користувача. Базуючись на цих принципах, найважливішою задачею яка виникає при проектуванні тренажера є вибір моделей і розробка на їх основі програмних засобів конкретизації образних поглядів на тему обмеженого світу задачі (з метою розбудити уяву користувача) і генерації деяких індивідуальних фонових образів для активізації механізмів підсвідомості, підвищення граничного рівня уваги, сприймання і запам'ятовування. Таким чином тренажер

являється джерелом нових знань про поведінку людини в умовах віртуального по формі та штучного по змістовним законах світу.

Тренажерні системи оперативних дій для навчання диспетчерського персоналу з транспорту природного газу в управліннях магістральних газопроводів, повинні передбачати підготовку спеціалістів цього напрямку щодо усіх можливих аспектів їхньої роботи. Включаючи встановлення та забезпечення ефективного режиму роботи газотранспортної системи по налагоджених схемах, а також прийняття правильних рішень в непередбачених ситуаціях [4].

Тренажери повинні забезпечити проведення планових та протиаварійних тренувань [3] з автоматичним контролем технології процесів переключення та періодичним стеженням за зміною режиму роботи газотранспортної системи. Планові тренування проводяться для розвитку в оперативного персоналу розуміння логіки переключень і відпрацьовування автоматизму виконання операцій, так як такі переключення зазвичай відбуваються по напрацьованих алгоритмах. Роль протиаварійних тренувань більш суттєва, оскільки в даному випадку дії персоналу виконуються згідно розроблених планів ліквідації аварійних ситуацій, а в деяких випадках і взагалі можуть бути наперед невизначені і залежать від безпосередньої готовності прийняття правильних рішень.

До найбільш складних задач оперативних переключень в газотранспортних системах належать задачі правильності виходу з аварійних ситуацій, які виникають на ділянках з заниженим запасом надійності, на фоні ускладненого режиму роботи системи [1].

На рисунку 1 зображена схема включення системи магістральних газопроводів Барського ЛВУМГ, УМГ «Черкаситрансгаз», ДК «Укртрансгаз» ділянка між компресорними станціями Бар (КС-19,37,37Б) та Гусятин (КС-20,38,38Б). Представлена схема відповідає існуючій системі відображення технологічних параметрів оперативно-диспетчерського персоналу.

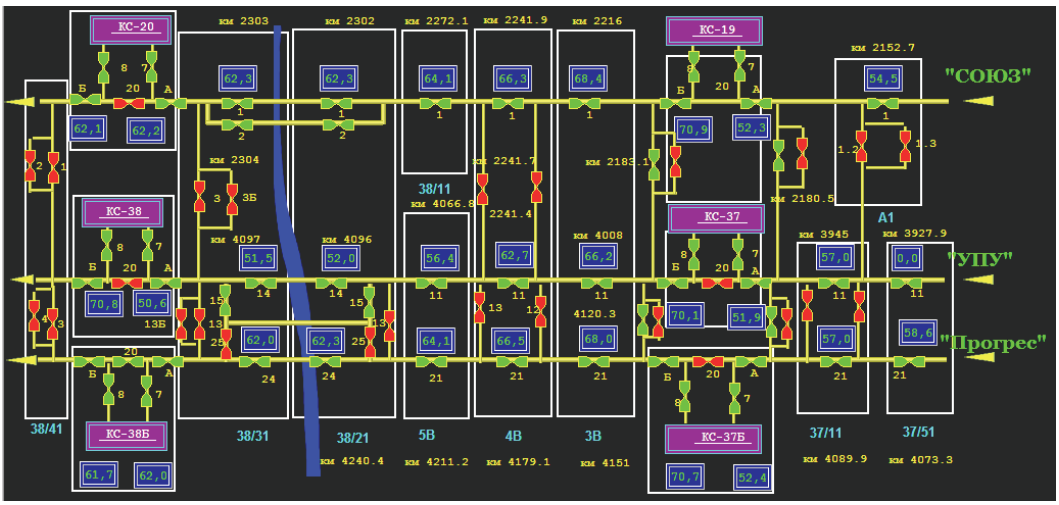


Рис. 1. Схема включення системи магістральних газопроводів Барського ЛВУМГ

Паралельно з газопроводом “Союз” на даній ділянці проходять ще дві нитки газопроводів – “Прогрес” та “УПУ”. Між кожною з них встановлені трубопроводи - перемички, які через лінійні крани з’єднують їх в одну трубопровідну систему. Під час експлуатації такої системи, завантаження газопроводів може різко змінюватись. Це пояснюється багатьма факторами. При паралельно працюючих нитках трубопроводів, часто станція одного газопроводу може крім свого, завантажувати газопровід сусідньої станції. Тобто здійснювати підкачку газу в іншу нитку, при цьому змінюючи режим роботи станції, яка її обслуговує. При такому процесі експлуатації газопровідної системи відповідні лінійні крани на трубопроводах-перемичках відкриті, що призводить до розподілу потоку газу, розподілу та втрат тисків і температур між паралельно з’єднаними газопроводами. Ці фактори та ряд інших несуть безпосередній вплив на роботу газотранспортної системи

загалом і обов'язково повинні бути враховані при моделюванні технологічних процесів пов'язаних із проведенням різного роду переключень, планових пусків та зупинок, а також виникненням нештатних ситуацій які можуть мати місце під час експлуатації магістральних газопроводів [3]. При розробці комп'ютерного тренажера для віртуальної реалізації функціонування газотранспортної системи необхідно передбачити моделювання процесів виникнення таких ситуацій.

1. Моделювання режиму роботи газотранспортної системи в залежності від заданих режимних параметрів, з можливістю внесення змін в реальному часі. Алгоритмом передбачається постійний перерахунок режиму роботи враховуючи будь-які передбачені програмою зміни які можуть бути внесені оператором в режимі реального часу. Наприклад пуск, зупинка, зміна навантаження ГПА, виконання різного роду переключень та інші аспекти передбачені нормальною роботою експлуатаційного персоналу.

2. Моделювання причини можливого виникнення аварійної ситуації. Аварійна ситуація описується правилами, які виражають заборону на ті операції, які можуть раптово призвести до її виникнення. Наприклад відкриття лінійного крану при перепаді тиску на ньому більше 1 кгс/см ^{2}. Відповідно повинно видаватись попередження про заборонені дії та про можливість виникнення небезпечної ситуації.

3. Моделювання аварійної ситуації викликаної помилкою оператора. Аварійні наслідки переключень, виражені в некоректних перестановках запірної арматури, завантаження ГПА, або взагалі виходом із стійкої області режиму роботи газотранспортної системи, моделюється як порушення граничних меж для режимних параметрів. Моделювання здійснюється по принципу «найгіршого випадку»: якщо в реальності із-за неправильних дій оператора така ситуація може виникнути з певною ймовірністю, то в моделі вона наступить обов'язково.

4. Моделювання непередбаченої аварійної ситуації. За допомогою сценаріїв непланових подій, виконується моделювання різного роду нештатних аварійних ситуацій з послідуючим алгоритмом їх правильної локалізації. Наприклад імітація розриву газопроводу на невизначеній ділянці чи самовільне закриття лінійного крану. В таких випадках оперативне прийняття правильних рішень диспетчером являється основою ліквідації масштабних аварій та збереження можливого максимально ефективного режиму транспортування газу для подальшої безперебійної роботи газотранспортної системи.

5. Моделювання факторів ускладнення характеру аварії. До ряду таких факторів відносяться невиконання команди на перестановку запірної арматури по можливій причині виходу з ладу лінії телемеханіки та ін.

Висновки

Технічний персонал сучасного газотранспортного підприємства - це висококваліфіковані фахівці, здатні приймати правильні рішення в різних екстремальних ситуаціях. Для підготовки спеціалістів такого рівня потрібен тривалий час, великі фінансові та технічні затрати. Ефективним рішенням у підготовці персоналу є використання тренажерних систем, розроблених на основі останніх досягнень в області інформаційних технологій. Основна мета застосування таких систем - формування практичних навичок, підвищення професійного рівня і забезпечення безпеки на виробництві при різних нестандартних ситуаціях.

Список літератури

1. Збірка наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова – К.: 2005. – 132 с.

2. *Поспелов Д.А.* Справочник по искуственному интелекту. – М.: «Радио и связь», 1990. – 304 с.

3. Правила безпечної експлуатації магістральних газопроводів НПАОП 60.3-1.01-10: – Харків: «Індустрія», 2010. – 128 с.

UDC 531.7

L.A. Borkovskaya, Ph.D., A.V. Borkovskiy
(National Aviation University, Ukraine)

PATH PLANNING FOR A MOBILE ROBOT IN REAL TIME

This paper presents the research of a mobile robot (MR) actions planning in uncertain environment allows to determine dynamically time of approach of critical event on the basis of forecasting of possible consequences of the current situation with use of various environment processes laws knowledge.

During the last century, automation has become an extremely fast growing phenomenon impacting almost all facets of everyday life. Recently, robots have become a major part of this trend. Therefore, autonomously navigating robots have become increasingly important [1,3]. Motion planning [2] is one of the important tasks in intelligent control of an autonomous mobile robot.

An important feature of any autonomous mobile system is the ability to plan the movements to the specified target position. At the same time, intelligent mobile system features the ability to change or adjust the route in case of an unforeseen occurrence in the environment of foreign objects (or constraints). Thus, the challenge is that in general terms can be formulated as: find a path for the robot in its operating environment, from some initial position to some targets, taking into account the appearance and movement of obstacles. There are two possibilities:

a) information about the appearance and motion of obstacles in the environment of the robot is known;

b) information about the movements of the obstacles is not initially known.

The path-planning is again divided in two sections: global path planning and local path planning. Global path planning requires the environment to becompletely known and the terrain should be static. In this approach the algorithm generates a complete path from the start point to the destination point before the robot starts its motion. On the other hand, local path planning means that path planning is done while the robot is moving; in other words, the algorithm is capable of producing a new path in response to environmental changes. Assuming that there are no obstacles in the navigation area, the shortest path between the start point and the end point is a straight line. The robot will proceed along this path until an obstacle is detected. At this point, our path-planning algorithm is utilized to find a feasible path around the obstacle. After avoiding the obstacle, the robot continues to navigate toward the endpoint along a straight line (in our system the robot moves in a vertical or horizontal direction, not diagonally. Hence it will try to approximate a straight line.) until (1) the robot detects another obstacle or (2) the desired position is reached. An example of local path planning is shown in Figure 1.

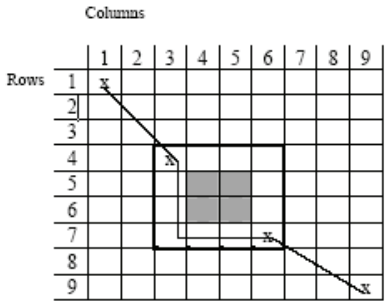


Figure 1. Path-planning example for local obstacle avoidance, applied on a subsection of the search space.

Planning of actions is the major function of the mobile robots independently working in dynamic and uncertain environments. For representation of robot actions plan we shall use hierarchical frame structure of the following kind. At the top-level plan FP_m is set by the frame of a kind:

$$FP_m = (PN_m, S_0, Act_1, S_1, Act_2, S_2, \ldots, S_{n-1}, Act_n, S_n),$$

where PN_m – is a name of m-th plan; S_0 - the current condition of environment; Act_i - is the frame of i-th action of the plan; S_i – is the frame of environment condition after performance of i-th action of a plan; S_n - the target condition of environment. Frames of environment conditions and actions of the robot contain slots «Type of the frame», «Name of the frame» and set of frames of the bottom level serving for representation of parameters of conditions and actions.

Parameters of environment conditions can be divided on the following groups:

- external world condition parameters, which value do not depend on robot actions;
- environment condition parameters and the robot in the environment, changeable as a result of robot actions;
- robot inwardness parameters, describing internal robot resources.

The process of decision-making by the intellectual robot in system of real time on the basis of actions planning includes the following steps:

1) preliminary estimation of a situation and definition of the general stock of time T_d for decision-making;
2) definition of actions variants set possible in the given situation;
3) distribution of the general budget of time for tasks of various actions variants estimation;
4) concretization and estimation of actions planning efficiency;
5) actions variants comparison and choice of the best of them.

Let's consider all listed steps of decision-making.

Time restrictions for decision-making by the robot are caused by possible approach of events undesirable to the robot if it in due time will not undertake corresponding actions. Time of approach of events is determined by dynamics of environment processes (in particular, actions of mobile obstacles) and a priori is not known.

Thus, the robot should possess ability to define dynamically the time of critical event approach on the basis of forecasting of possible consequences of the current situation with use of knowledge of laws of various environment processes.

Set of possible in the future critical events $\{CE_i\}$ can be put in conformity with every GPS. Function $f_d^i(P_j, ..., P_k)$ from predicates of the current situation, calculating stock of time T_d, caused by possible approach of the given critical event can be put in conformity to each critical event.

The kind of this function is known at a stage of MR control system construction, and its description is stored in corresponding slot of action plan. The valid value of a stock of time Td is calculated dynamically on the basis of the current values of situation parameters.

Every GPS at a stage of construction of base of MR knowledge puts in conformity set of tactical variants of actions submitted by plans of action $\{FP_1, \ldots, FP_q\}$. Each such plan has slot "Precondition" in which predicate PC (precondition) is written down, determining additional conditions of the given plan applicability. The predicate is determined on parameters of the current situation (both external, and inwardnesses of the robot) and allows to exclude some plans from the further consideration.

Calculation of the given predicate is realized by function $g(P_j, ..., P_k)$. Computing complexity of this function should be low and the top estimation of its calculation time should be known. Calculation of predicate PC can demand gathering of the additional information for reception of facts, which are not contained at present in a database. As a result of definition of the validity of

preconditions of all plans contained in $\{FP_1, \ldots, FP_q\}$ the reduced set $\{FP_m\}$ of possible plans for the further analysis is formed.

As the estimation of efficiency of all tactical plans from set $\{FP_m\}$, should be executed in time T_d, it is necessary to allocate the general stock of time between corresponding tasks of a concretization.

Various plans of actions, generally, demand various time of a concretization and this time depends on parameters of the current situation and it is not known at a stage of knowledge base construction. Besides time of action plan concretization can vary over a wide range not only depending on an external situation, but also on internal resources of the robot. The time of this task decision depends on the area of the scanning, the current condition of touch and MR processing resources, and other parameters which values are a priori unpredictable. At the same time, set of such parameters can be allocated beforehand and for each concrete plan FP_m the bottom estimation of decision time of task of concrete definition T_m^* can be expressed as function from these parameters:

$$T_m^* = h_m(P_1, \ldots, P_k).$$

These functions should have low computing complexity. Using the given functions, MR calculates the bottom estimation of total time of a concrete definition of all plans belonging to set {FPm}on the basis of the current situation:

$$T_\Sigma^* = \sum_m T_m^*$$

Conclusion

Use of suggested method of MR actions planning in uncertain environment allows to determine dynamically time of approach of critical event on the basis of forecasting of possible consequences of the current situation with use of various environment processes laws knowledge.

Tasks of search of optimum values of action plan parameters depend on the concrete mathematical models used for the description of corresponding steps of the plan, and can be the diversified. At the same time, MR control systems with recognition of situations and planning of actions are characterized by great volume of the processed information and high complexity of used algorithms of processing of the information and decision-making. High reliability demands are also made for them. The specified characteristics can be achieved due to use of multiprocessing computing systems, for example as an artificial neural network. In hardware realization neural network is a network from set of simple processors, each of which has small local memory and communication connections with other processors. Prototypes of such networks for MR control systems have been already in use now for forecasting of situations in financial sphere, images recognition, speech.

References

1. *Popov E.* Algorithmic Basics of Intellectual Robots and Artificial Intelligence/ Popov E., Firdman G.// 1976. – M.: Nauka, 455p.

2. *Пантелеев М. Г.* Планирование действий интеллектуального робота в реальном времени/ Пантелеев М. Г., Натей-Голенко М. А./ 1999/.– СПб.: Материалы 10-й научно-технической конференции "Экстремальная робототехника"

3. Artificial Intelligence. - In 3 books. B. 2. Models and Methods: Directory / Under D.A.Pospelov edition – M.: Radio Svyaz, 1990.

4. *Zilberstein S.* Using anytime algorithms in intelligent systems/ S. Zilberstein //, AI Magazine, 1996, v. 17, N 3, pp.73-83.

УДК 681.5.042

К.Я. Охрименко, к.т.н., почётный профессор, А.В. Манзюра
(Черкасский государственный технологический университет, Украина)
Eichhorn K.K., PhD (Fraunhofer Institute for Non-Destructive Testing, Germany)
Л.М. Покидько, ведущий инженер
(Национальный авиационный университет, Украина)

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ВИБРАТОРОВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассматривается принцип расширения функциональных возможностей нагрузочных характеристик электродинамических вибрационных стендов, алгоритм работы универсального генератора электродинамического вибратора для любого статистического закона распределения случайных величин.

Повышение надёжности авиационной техники в условиях интенсивных динамических нагрузок при эксплуатации требует проведения вибрационных исследований, связанных с виброустойчивостью и вибропрочностью конструкций.

Современный анализ вибрационных процессов и диагностику невозможно рассматривать без использования теории случайных процессов. Большинство вибрационных сигналов имеют случайный характер, которые могут быть оценены статистическими методами обработки.

В рамках информационных технологий на современном этапе используются аналитические и экспериментальные методы исследования, связанные с моделированием идентификацией и диагностикой вибрационных процессов.

Для решения данной задачи на основании разработанных математических моделей функционирования электродинамических вибраторов (ЭДВ), управляемых генераторами напряжений или тока, предпочтением являться возбуждение подвижной катушки в поле постоянного магнита генератором тока, который, обеспечивает постоянство силы тока, в значительной мере упрощает преобразования входного сигнала и обеспечивает устойчивый режим роботы.

Режим возбуждения вибровозбудителя от генератора напряжения характеризуется зависимостью тока подвижной катушки ЭДВ от параметров цепи и обобщённой скорости её перемещения. Постоянство тока в цепи катушки при её возбуждении от генератора тока является преимуществом этого способа возбуждения и характеризуется как режим заданного тока.

Наличие в обычных конструкциях электродинамических возбудителей механической системы и эклектических цепей переменного и постоянного возбуждения, а так же гидравлической подсистемы усиления в конструкциях электродинамических гидроимитаторов нагрузки для составления математических моделей наиболее приемлемым является использование уравнений Лагранжа-Максвелла [1]:

$$\left.\begin{aligned} \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} &= Q_j + \frac{\partial L^e}{\partial q_j}; \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L^*}{\partial \dot{q}_j}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} &= E_j + V_z^j, \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где $L = T - П$; $L^e = W_m - W_e$ - функции Лагранжа и Максвелла соответственно; $W_m = 0{,}5\int_v \frac{1}{\mu} B^2 dV$ - магнитная энергия; $B(x, y, z, i_1, i_2) = \sum_{j=1} B_j(x, y, z) i_j$ - магнитная индукция; μ - магнитная проницаемость среды; Q_j; Q_j^e - обобщённые силы; E_j - источник напряжения.

Математическая модель ЭДВ с возбуждением от генератора тока, представленного в работе [1], согласно уравнения Лагранжа-Максвелла для электромеханических систем описывается дифференциальными уравнениями:

$$\left.\begin{aligned} &m_1\ddot{y}_1 + c_1(y_1 - y_2) + h_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) = B \cdot \ell \cdot i_2; \\ &m_2\ddot{y}_2 + c_2 y_2 + h_2\dot{y}_2 = h_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + c_1(y_1 - y_2); \\ &\frac{U}{R} + \Gamma_2(\psi_2 + \psi) = \frac{E_2(t)}{R_2}, \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

которые с учётом нулевых начальных условий в операторной форме имеют вид:

$$\begin{aligned} &(m_1 p^2 + h_1 p + c_1) \cdot y_1 - (h_1 p + c_1) \cdot y_2 = B \cdot \ell \cdot i_2, \\ &(m_2 p^2 + h_2 p + c_2) \cdot y_2 = (h_1 p + c_1) \cdot (y_1 - y_2). \end{aligned} \qquad (3)$$

Частотные передаточные функции, получаемые на основании этих уравнений с использованием методов теории САУ, позволяют построить структурные схемы работы нагруженных и ненагруженных ЭДВ. А так же исследовать АФЧХ, переходные процессы ЭДВ с генераторами, построенными как на основе известных алгоритмов, так и для случая расширения функциональных возможностей генераторов.

Расширение функциональных возможностей системы управления вибрационных стендов и получение сигналов различной формы, в отличие от существующих генераторов вибрационных стендов, которые воспроизводят сигналы треугольной, прямоугольной формы, синусоиды и широкополосного сигнала, может быть достигнуто изменением тока в цепи катушки возбуждения при использовании генератора тока, воспроизводящего различные статистические законы распределения случайных сигналов на основе специально разработанного алгоритма и программного обеспечения, используя компьютер в системе управления.

Для связи компьютера с вибростендом, прежде всего, может быть использована звуковая пятиканальная карта ввода и вывода информации, которая управляется стандартным программным обеспечением и позволяет организовать обратную связь по сигналу управления от сбора информации о состоянии объекта испытания [2]. Стандартные технические характеристики звуковых карт охватывают диапазон частот колебаний 20-20000 Гц, глубину дискретизации сигнала 8 или 16 бит, стандартные частоты дискретизации сигнала 44100, 22050, 11025 Гц.

Разработанное программное обеспечение, например для зубчатых редукторов, обеспечивает отображение следующих законов статистического распределения случайных величин: закона равной вероятности; нормального закона распределения и бета-распределения с разными параметрами U и V [3].

Основной принцип, заложенный в реализацию генераторов такого типа, выражается известной зависимостью, которая показывает: если известна плотность вероятности $f(x)$, то величина

$$F(b) = \int_a^b f(x)dx \qquad (4)$$

может быть распределена равномерно в интервале $[0,1]$. Если задать $F(b)$ в виде равномерной последовательности в интервале $[0,1]$ и разрешить (4) относительно b, то

получим последовательность случайных чисел с необходимой плотностью вероятности распределения $f(x)$ соответствующих закону распределения. Так как определение интеграла аналитически не всегда возможно, то для реализации данной зависимости был использован численный метод, алгоритм которого представлен на рис 1.

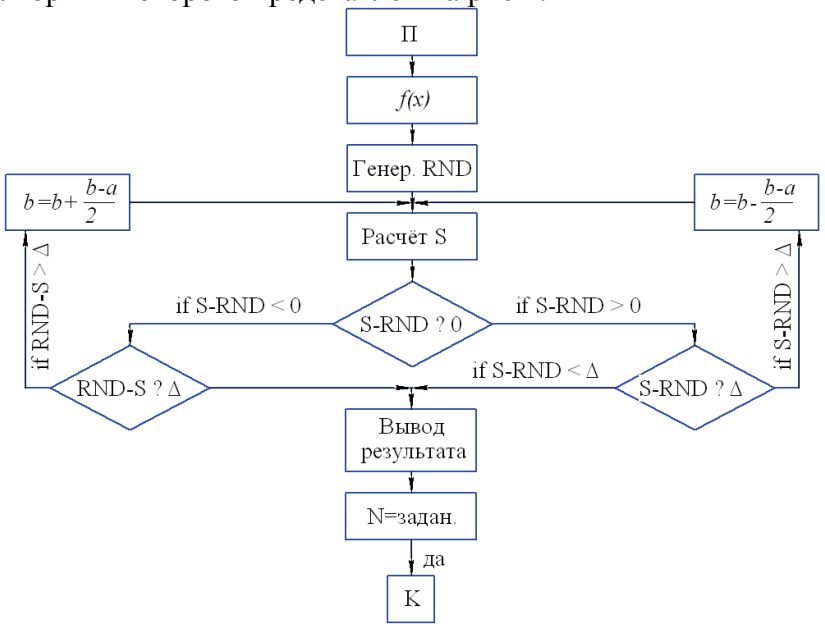


Рис. 1 – Алгоритм реализации генератора случайных чисел заданным законом распределения

Аналогично работает алгоритм и для других законов распределения, задав необходимую функцию плотности вероятности.

После разработки математической модели и управляющих программ в виде генераторов законов распределения случайных величин для расширения функциональных возможностей была разработана функциональная схема синтеза и управление ЭДВ, рис.2.

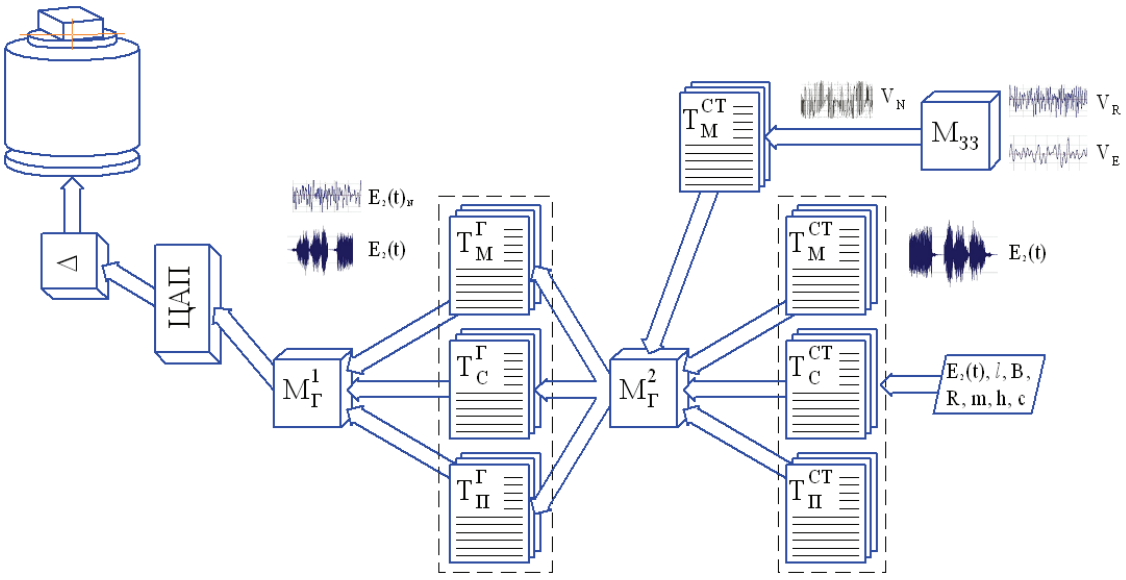


Рис. 2 – Функциональная схема синтеза и управления ЭДВ

Согласно рисунка 2: T_M^{CT} - данные моделирования сигнала (амплитуда, частота и ссылки на параметры других составляющих структуры); T_C^{CT} - сценарий описания последовательности действий в процессе испытаний (вход в резонанс, окончание заданного промежутка времени, достижение конкретного выходного сигнала); $T_П^{CT}$ - перечень действий

возможных при исследовании, на которые необходимо реагировать в системе представленных сервером базы данных при формировании структуры исследования; $T_{СТ}$ - блок описания структуры и перемен изменения при исследовании за счёт действия корректирующих сигналов обратной связи. Процессом создания сигнала управляет модель генерации сигнала $M_Г$, которая включает блок сравнения и коррекции $M_Г^2$ и блок генерации $M_Г^1$, который преобразует структурированный сигнал в сигнал для звуковой карты, а так же блок формирования сигнала обратной связи $M_{ЗЗ}$. Такая двухступенчатая обработка даёт возможность гибко формировать и корригировать сигнал, который подаётся к вибратору, учитывая сигнал коррекции от схемы обработки выходного сигнала поступающего на $T_{СТ}$. Для оперативного управления процессом виброиспытаний при обработке сигналов от датчиков цепи обратной связи эффективно использование быстрых дискретных преобразований типа Уолша- Адамара, Пели и Качмажа.

Функциональная схема включает два потока информации - на входе и выходе сигнала с вибростенда. Поток входного сигнала на вибростенд включает типы данных: входные постоянные и переменные параметры вибростенда; описание закона нагружения, сценария нагружения с текстовым описанием каждого этапа и перехода; закон нагружения с учётом коррекции обратной связи, выходной набор числовых значений сигналов, которые преобразуются в ЦАП звуковой карты в аналоговый сигнал для предусилителя.

Выводы

Таким образом, математическая модель электродинамического вибростенда, используя методы теории САУ, позволяет оценить амплитудно фазо-частотные характеристики стенда в зависимости от разного вида возбуждений посредством генератора напряжений или генератора токов, отдавая предпочтение последним.

Развитие функциональных возможностей электродинамических вибростендов на основании предложенной структуры, разработанного программного обеспечения формирования законов распределения случайных величин на примере анализа динамики работы зубчатых передач позволяет проводить исследования вибрационных процессов работы машин в условиях максимально приближенных к реальным.

Расширение функциональных возможностей аналогично может быть распространено и на нагрузочные характеристики электродинамического гидроимитатора нагрузки [4].

Список литературы

1. Методы проектирования электромеханических возбудителей / Божко А.Е., Пермяков В.И., Пушня В.А. Отв. ред. *А.Н. Подгорный;* АН УССР. Институт проблем машиностроения. – К.: Нак. думка, 1989. – 208 с.

2. *Охріменко К.Я.* Розширення функціональних можливостей систем управління вібраційних стендів / Охріменко К.Я., Лапай А.К. // Черкаси. Вісник ЧІТІ №1, 1998. – С 86-88.

3. *Лапай А.К.* Генератор різних неперервних статистичних законів розподілу як елемент системи управління при автоматизованому випробуванні машин та механізмів / Лапай А.К., Охріменко К.Я. // Черкаси. Вісник ЧІТІ №1, 1998. – С 3-8.

4. *Охрименко К.Я.* Нагрузочные характеристики электродинамического гидроимитатора нагрузки в схеме испытательной установки / Охрименко К.Я. // Черкаси. Вісник ЧІТІ №2, 2001. – С 105-113.

УДК 531.7

О.І. Осмоловський, кандидат технічних наук
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ ПРОСТОРОВОГО РУХУ ВИКОНУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Запропоновано нові підходи до організації керування виконуючими елементами спеціалізованих робототехнічних систем, які дозволили одержати покращені динамічні та енергетичні показники процесу відтворення складного просторового руху. Проведені аналітичні дослідження варіантів реалізації систем керування двигунами постійного струму. Наводяться результати порівняльного аналізу запропонованих структур.

Сучасні робототехнічні системи оснащені різноманітними виконуючими елементами та механізмами, призначеними для забезпечення просторових переміщень як спеціалізованого інструмента, так і самого об'єкта маніпулювання. В ряді випадків до систем керування рухом пред'являються надзвичайно високі вимоги з точності відтворення просторового руху, наприклад в медицині, мікроелектроніці, інше. Досягнути позитивних результатів вдається завдяки мінімізації габаритів, підвищенню динамічних характеристик, енергетичної ефективності, надійності створюваних систем. Шляхи розв'язання даної задачі розробляються вже давно [1-3], досягнуто значних успіхів, але можливості відшукання нових рішень з підвищення точності відтворення просторового руху виконуючих елементів робототехнічних систем далеко не вичерпані.

Виконання позначених вище вимог з компактності, точності та енергетичної економічності визначає вибір способу керування електричними двигунами робототехнічних комплексів на користь широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) напруги живлення. Вибираючи частоту управління f з умови $f > 1/2\pi T_e = r/2\pi L$, де r – активний опір обмотки, L – індуктивність, $T_e = L/r$ – постійна часу обмотки (її ще називають електромагнітною постійною на відміну від електромеханічної $T_м$,), можна одержати той же самий результат у формуванні струму в обмотках, що й при управлінні неперервним струмом. При цьому додатково істотно скорочуються втрати енергії в електронній частині, оскільки остання працює в ключовому режимі.

Реалізація систем частотного управління двигунами змінного струму, як правило трифазними, досить складна, оскільки містить виконаний за мостовою схемою напівпровідниковий інвертор, для керування яким застосовуються спеціалізовані контролери. У випадку управління двигунами постійного струму задача вирішується значно простіше, проте різноманітність можливих підходів до організації управління є набагато ширшою.

Розглянемо кілька можливих підходів до організації ШІМ-управління.

1. Управління знакозмінною напругою, що набуває форми меандру в нейтральному стані. Частота обирається достатньо високою $f >> r/2\pi L$.

2. У нейтральному стані обмотка двигуна закорочена, при появі команди до обмотки прикладається напруга відповідної полярності на час, пропорційний величині команди. Даний режим в порівнянні з попереднім є більш прийнятним для двигуна з погляду можливих перевантажень (електричних і теплових), допускає зменшення частоти ШІМ навіть нижче за $1/T_e$.

Обидва зазначені режими характеризуються збереженням початкової постійної часу формування струму завдяки безперервно підключеній обмотці до джерела напруги з низьким імпедансом. Результуючий струм в черговому такті ШІМ є величиною інтегральною, залежною від передісторії в попередніх тактах. Пульсації струму відіграють позитивну роль в подоланні сухого тертя в підшипниках і редукторі. З енергетичної точки зору перший

режим є небажаним, в другому ж режимі можна досягти певного компромісу, створивши достатньо інтенсивно пульсуючий момент без небезпечних теплових перевантажень обмотки навіть при низькому середньому моменті на валу. Обидва варіанти є лінійними системами, в яких середній струм встановлюється пропорційно значенню керуючого сигналу автоматично, що забезпечується алгоритмічно.

3. Наступний режим не є типовим при побудові ШІМ-управління двигунами. В циклі живлення двигуна формується вимушена пауза для переведення обмотки в стан холостого ходу (ХХ) з метою вимірювання ЕРС обертання, пропорційної фактичній швидкості двигуна. Природно, що тепер період ШІМ повинен перевищувати постійну часу обмотки, оскільки гарантоване припинення струму в обмотці від початку блокування може відбуватися тільки по закінченні часового проміжку, співрозмірного з T_e. Ситуація ускладнюється у випадку реверсу на великих швидкостях з практично подвійним струмом – тоді час згасання струму стає ще більшим. Але, оскільки в більшості виконуючих елементів потреби в перевищенні при наймі половини максимальної швидкості не виникає, період блокування може бути вибраний з близьким до T_e. Більша частина періоду ШІМ відводиться для формування струму в обмотці, завдяки чому забезпечення пускового струму в обмотці цілком можливе. Але закон регулювання тривалості імпульсів ШІМ при введенні примусової паузи стає нелінійним. Кожного разу, перериваючи струм на час блокування, ми втрачаємо передісторію струму в попередніх періодах. Тому середній струм і середній момент на валу не будуть пропорційними простому середньому значенню керуючого ШІМ-сигналу, а визначатимуться нелінійним характером процесу зростання струму на початковій ділянці періоду, порівняній з постійною T_e.

Зупинимося на двох різних варіантах реалізації третього режиму.

В першому випадку в робочій частині періоду ШІМ формується ділянка підключення джерела до двигуна тривалістю, пропорційною керуючій команді, після чого слідує коротке замикання (КЗ) аж до початку примусового блокування. При малих командах середній струм на ділянці зростання пропорційний квадрату ширини імпульсу, а на ділянці КЗ визначається досягнутим значенням струму, яке прямо пропорційне ширині імпульсу. При збільшенні керуючої команди експоненціальна ділянка затухаючого струму стикається з ділянкою блокування, внаслідок чого утворюється злам модуляційної характеристики, який негативно позначається на якості роботи приводу. Основною особливістю режиму є те, що при малих командах струм і обертаючий момент формуються у вигляді сплесків з крутим фронтом і експоненціальним спадом з фіксованою постійною часу та амплітудою, пропорційною керуючій команді.

В іншому варіанті, на відміну від попереднього, повністю відсутній режим КЗ. Друга ділянка циклу замінюється ХХ, що позначається на лінійності модуляційній характеристики. Тепер при малих командах закон зміни струму набуває лише трикутної форми: тривалості зростання струму при підключенні джерела і спадання після його блокування практично співпадають. Середній струм стає пропорційним квадрату ширини імпульсів, а значить і квадрату керуючої команди. Для лінеаризації модуляційної характеристики потрібне застосування компенсуючого параболічного закону управління шириною імпульсів на початковій ділянці, що і реалізується в запропонованій системі.

Відзначимо відмінності останнього режиму “пуск” – “холостий хід” від попереднього варіанту. За умови узгодженої лінеаризації характеристики при малих командах в обмотці формується струм у вигляді трикутних імпульсів з крутими фронтом і спадом, набагато коротших в порівнянні з більш тривалими експоненціальними імпульсами з таким же середнім значенням та значно більшою амплітудою, ніж у першому випадку. Теоретично це є найменша за тривалістю і найбільша за амплітудою порція моменту, яку можна одержати для заданого середнього моменту від наявного джерела живлення. Пульсації моменту з максимально збільшеною амплітудою при тій же тактовій частоті і підтримці того ж середнього моменту дають найбільший ефект в подоланні сухого тертя, що при малих

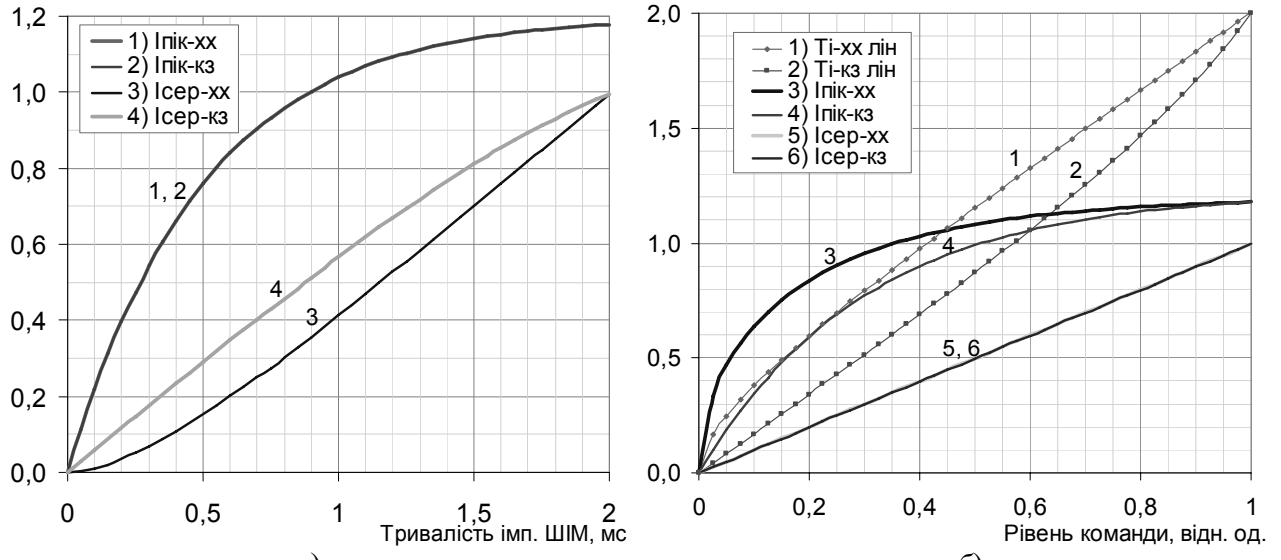
швидкостях забезпечує плавність ходу і завдяки цьому вищу точність руху виконуючого елементу.

До переваг останнього варіанту модулятора можна віднести й те, що він стає нечутливим до поточної швидкості обертання валу, а це свідчить про збільшення астатизму системи на один порядок. Кожного разу, підключаючись до двигуна і потім залишаючи його на холостому ходу, ми надаємо останньому відповідну порцію енергії, коректуючи швидкістю обертання. Якщо необхідності в корекції останньої немає, управляюча команда дорівнює нулю і двигун продовжує обертання з незмінною швидкістю, залишаючись готовим до чергової корекції. У попередньому ж випадку подача нульової команди призвела б до закорочування обмотки двигуна і він мав би зупинитися по експоненті відповідно до своєї механічної постійної часу $T_м$. Таким чином, останній режим енергетично вигідніший, забезпечує більш щадний режим роботи двигуна, зменшуючи нагрів обмотки.

Ще зауваження на користь алгоритмів ШІМ з перериванням струмів. Якщо за відсутності блокування середнє значення струму визначається ще і передісторією зміни струму в декількох попередніх тактах, то у разі переривання струму спостерігається однозначна повторюваність струмової картини (при постійній команді) і повна незалежність поточного такту від попереднього. І, якщо в першому випадку для розширення смуги струмового контура потрібне введення зворотного зв'язку, то в другому така необхідність виключається, оскільки алгоритмом такого режиму вже забезпечена автоматична параметрична компенсація постійної часу струмового контура.

Другий варіант модулятора нечутливий до поточної швидкості обертання валу, що свідчить про збільшення астатизму системи на один порядок. У цьому режимі забезпечується й більш щадний тепловий режим роботи двигуна.

На діаграмі рис. 1, *а* показані результати розрахунку залежності середнього і пікового значень струмів в обмотці двигуна від ширини імпульсів ШІМ для обох варіантів реалізації модулятора. Залежність середнього струму для варіанту з КЗ лінійна практично до максимальних значень управляючої команди. Характеристика варіанту з ХХ містить параболічну ділянку при малих тривалостях імпульсу ШІМ.



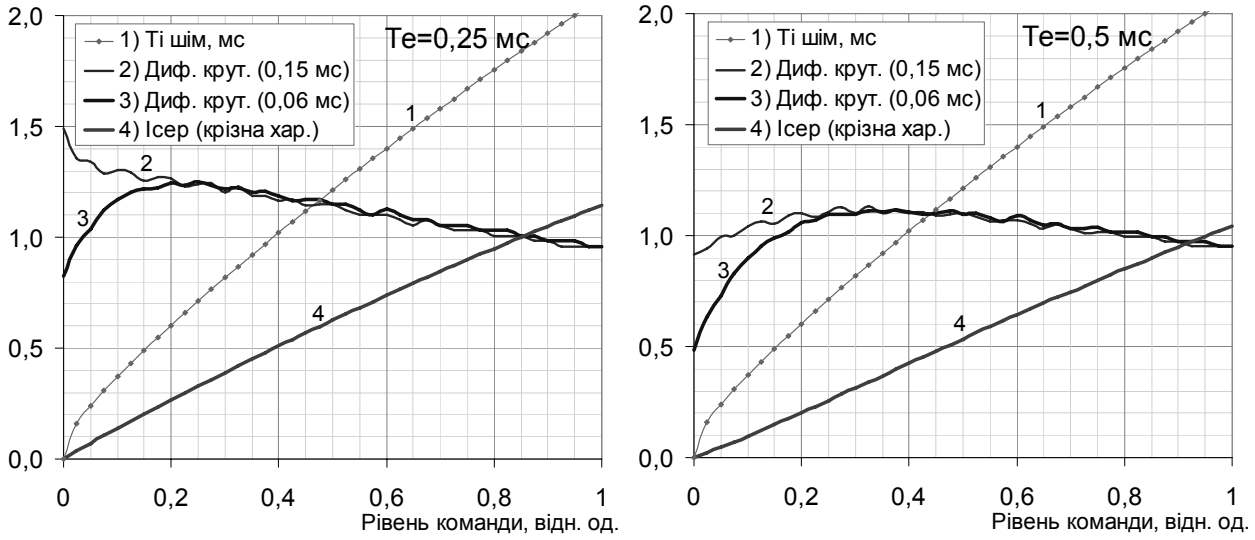
а) *б*)

Рис 1. Залежність середнього та пікового значень струму від ширини імпульсів ШІМ (*а*) та відносного рівня команди (*б*)

Важливим є співвідношення пікового та середнього за період значень струму. Зробити висновок про модуляційні властивості варіантів дозволяє представлення тієї ж моделі в інших координатах (рис. 1, *б*). Обидві характеристики лінеаризовано відносно управляючої команди, а кривими 1 і 2 показано, як повинна змінюватися ширина імпульсів для здійснення такої лінеаризації. Тепер криві 3 та 4 для пікового значення струмів розійшлися і дають наочне уявлення про переваги останнього варіанту в забезпеченні більшого пікового струму

при одному і тому ж середньому. Ця відмінність найкращим чином виявляється в області малих сигналів, де формування значних пікових обертальних моментів особливо важливе для подолання тертя. Виконаємо оцінку співвідношення імпульсного і середнього моментів для одного і того ж значення останнього при різних способах управління, умовно прийнявши поріг тертя на рівні 0,1 від пускового моменту. Очевидно, що для подолання сил тертя при живленні постійним струмом знадобиться команда в 10% від максимальної. В варіанті ШІМ з КЗ ми спостерігаємо значення команди, здатної подолати тертя, на рівні 2,5% від максимальної, а для варіанту ШІМ з ХХ цей показник знижується до 0,2% (тобто у 8 разів).

На діаграмах рис. 2 представлено результат параметричної лінеаризації крізної модуляційної характеристики приводу з ШІМ з ХХ для двох різних значень постійної часу T_e та різних параметрів компенсатора. Нестабільність крізної диференціальної крутизни не перевищує ±10% від її середнього значення, інтегральна ж крутизна (відношення середнього обертаючого моменту до значення керуючої команди) виявляється ще більш постійною в усьому діапазоні команд.



а) *б*)

Рис.2. Крізна модуляційна характеристика лінеаризованих модуляторів для різних значень електромагнітної постійної часу T_e

Нестабільність диференціальної крутизни крізної характеристики не перевищує 10%, а коефіцієнт, визначений як відношення середнього обертаючого моменту до керуючої команди, ще більш постійний в усьому діапазоні команд.

Висновки. Зазначеними підходами не вичерпуються можливості підвищення точності відтворення просторового руху виконуючих елементів робототехнічних систем, у тому рахунку і з приводами на основі ШІМ. Предметом подальших досліджень може бути пошук способів адаптивного подолання впливу тертя та змінних навантажень за рахунок розробки нових більш ефективних алгоритмів.

Список літератури

1. *Тимофеев А. В.* Адаптивные роботехнические комплексы. / Тимофеев А. В. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1988. – 332 с.

2. *Мирошник И.В.* Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами / Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.

3. *Ким Д. П.* Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Уч. пособ. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464 с.

УДК 004.891.3

Ю.П. Лещенко
(Національний авіаційний університет, Україна)

БАЗИ ЗНАНЬ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

Сфера штучного інтелекту нині набуває активного розвитку. Основний напрямок новітніх розробок спрямований на автоматичне накопичення і формування знань.

Поширеним стало використання експертних систем в діагностуванні. Така система співставляє певні необхідні характеристики об'єкта з деяким класом заданих характеристик і, таким чином, приймає рішення про справність або ж несправність цього об'єкта. Тобто якщо під час співставлення будуть спостерігатися відхилення від норми, за певними встановленими правилами, буде прийматися рішення про несправність.

Експертні системи стають надзвичайно популярними на ринку програмного забезпечення, адже дають змогу полегшити прийняття рішень у різноманітних напрямках при вирішенні трудомістких задач. Допомагають менш досвідченим користувачам знайти шлях до прийняття рішення.

Експертна система являє собою складний програмний комплекс, що акумулює знання спеціалістів у певній предметній області. Менш досвідчені користувачі можуть використовувати їх для вирішення своїх задач.

Експертна система включає в себе два компоненти: базу знань і програмний інструмент доступу і обробки знань, що складається з механізмів виводу рішень, набуття знань, пояснення отриманих результатів і інтелектуального інтерфейсу. І тут центральним компонентом експертної системи є саме база знань.

Слід розуміти, що знання відрізняються від даних. Під даними розуміють окремі факти, що характеризують об'єкти, процеси, явища предметної області, а також їх властивості. А знання є законами або ж принципами предметної області, вони отримані у результаті практичної діяльності і професійного досвіду. Таким чином знання основані на даних.

База знань в експертній системі призначена для збереження довгострокових даних, що описують область, яка розглядається (а не поточних даних), і правил, що описують перетворення даних цієї системи.

Головним в експертній системі є механізм, що здійснює пошук у базі знань, за певними правилами, для отримання рішення.

Найбільшого поширення набули продукційні моделі представлення знань. При цьому база знань складається з набору певних правил. Програма, яка керує перебором правил, називається машиною виведення, або ж інтерпретатором правил. Він виконує дві функції, а саме: перегляд фактів, що містяться у базі даних і правил, що містяться у базі знань і додавання у базу даних нові факти, а також визначення порядку перегляду і застосування правил.

Ми можемо виділити три основні стратегії проведення стадії отримання знань при розробці експертних систем (Рис. 1).

Під час формування поля знань ключовим питанням є сам процес отримання знань (на Рис.1 зображено у блоці під номером 2). Термін «отримання» пояснюється або ж дуже широко і тоді він включає весь процес передачі знань від експерта у базу знань, або ж як автоматизований процес побудови бази знань шляхом діалогу експерту і спеціальної програми.

Рис. 1 Стратегії отримання знань

У обох цих випадках термін «отримання» не стосується формування знань із потоку інформації про предметну ділянку. Цей процес описується поняттям «вилучення» (на Рис.1 зображено у блоці під номером 1) знань. Це процедура взаємодії експерта з джерелом знань, у результаті якої стають явними процес роздумів спеціалістів при прийнятті рішень і структура їх уявлень про предметну область.

Процес вилучення знань довготривалий і потребує значної роботи, адже інженеру по знанням потрібно відтворити модель предметної області, якою користуються експерти для прийняття рішень.

Процес аналізу даних і виявлення прихованих закономірностей з використанням спеціального математичного апарату і програмних засобів має назву формування знань (на Рис.1 зображено у блоці під номером 3).

Висновки

База знань є ядром експертної системи, сукупністю знань предметної області, що записана на машинному носії у формі, що зрозуміла як експерту, так і користувачу.

У процесі роботи з експертною системою користувач має можливість поповнювати базу даних і базу знань, таким чином «навчати» систему. Експертна система під час роботи використовує ту базу знань, яка закладена в неї при розробці і поповнюється в процесі експлуатації. Це знання та досвід людей, які фахівцями у конкретній галузі.

У теперішній час у сфері баз знань інтелектуальних систем уже є суттєвий теоретичний базис, існує достатньо широкий спектр відповідних методів і технологій розробки. Багато з них підтримані адекватним програмним інструментарієм.

Список літератури

1. *Гаврилова Т.А.* Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский – «ПИТЕР», 2000. – 382с.

2. *Тельнов Ю.Ф.* Интеллектуальные информационные системы / Ю.Ф. Тельнов – Москва, 2004. – 82с.

3. *Сойер Б.* Программирование экспертных систем на Паскале / Б. Сойер, Д.Л. Фостер – «Финансы и статистика», 1990. – 190с.

УДК681.2.083:555.7

Д.М. Федоров, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ

В даній роботі описано дев'ять алгоритмів порівняння двох деталей: еталонної та вимірюваної. Вони дозволяють давати точний висновок про придатність виготовленої деталі. Приведений алгоритм обробки інформації, що здатний з високою точністю проводити збір, обробку та передачу інформації про виміряні точки поверхні.

Координатно-вимірювальні машини (КВМ) разом із системою її управління забезпечують визначення координат всіх точок поверхонь деталей в просторі вимірювання та дозволяють визначити метрологічні параметри відхилення від форми та розташування поверхонь деталей особливо складної конфігурації за допомогою математичних розрахунків з використанням векторної, лінійної алгебри та інших обчислювальних методів. Якщо деталь виміряна, інформація з КВМ надходить на обчислювальний пристрій, де відбувається її обробка. Обробка інформації полягає у порівнянні еталонної та виміряної деталі і висновку про придатність другої для випуску з підприємства. Автором проведений аналіз роботи дев'яти алгоритмів обробки інформації при вимірюванні деталей, порівняння яких наведено нижче.

1. Алгоритм порівняння за відповідними точками

В цьому алгоритмі припускається, що кількість точок, заданих в еталоні і кількість виміряних точок співпадає. Крім того, оскільки порядок обходу щупа однаковий для кожної деталі, то вважається, що перша точка вимірюваної деталі відповідає першій еталонній, друга – другій і т.д. Якщо $A_1(x_{a1},y_{a1},z_{a1})$ і $B_1(x_{b1}, y_{b1}, z_{b1})$ дві такі точки, то алгоритм визначає відстань між кожною парою таких точок за формулою

$$d = \sqrt{(x_{a1} - x_{b1})^2 + (y_{a1} - y_{b1})^2 + (z_{a1} - z_{b1})^2} .$$

Якщо найбільша з таких відстаней менша за допустиму похибку, то за даним алгоритмом порівняння деталь вважається придатною.

2. Алгоритм порівняння за найближчими точками

В цьому алгоритмі кількість точок еталонної деталі і вимірюваної може бути різною. Це не означає, що їх неможливо порівнювати, оскільки оцінити ідентифікацію деталей можна і органоліптичним методом, не зважаючи на кількість полігонів, з яких складена деталь і не використовуючи спеціальних технічних засобів. Крім того, КВМ володіє розвинутою сенсорикою та засобами штучного інтелекту. Вона здатна до автоматичного вимірювання в рамках поставлених вимірювальних задач. В процесі роботи можливий обмін інформацією та узгоджена дія між підсистемами на різних рівнях діяльності. Висока точність та швидкодія вимірювань дозволяють забезпечити стовідсотковий контроль виробів з реєстрацією результатів в пам'яті комп'ютера.

В цьому алгоритмі, як і в усіх інших, набір точок представляється у вигляді двох двовимірних масивів розміру n x 3, де n – кількість точок. Після цього визначається довільно точка у просторі. Потім знаходяться відстані від цієї точки до найближчих до неї точок еталонної (d_e) та вимірюваної (d_m) деталі та знову вибирається довільна точка і знаходяться відстані і цей процес повторюється 100 разів. Якщо хоча б на одній ітерації виявилось, що $|d_e - d_m| > \varepsilon$ (ε – задана похибка), то деталь вважається непридатною.

Схема алгоритму порівняння за найближчими точками представлена на рисунку 2.

3. Алгоритм порівняння за найдальшими точками

В цьому алгоритмі, як і в попередньому, кількість точок еталонної деталі і вимірюваної може

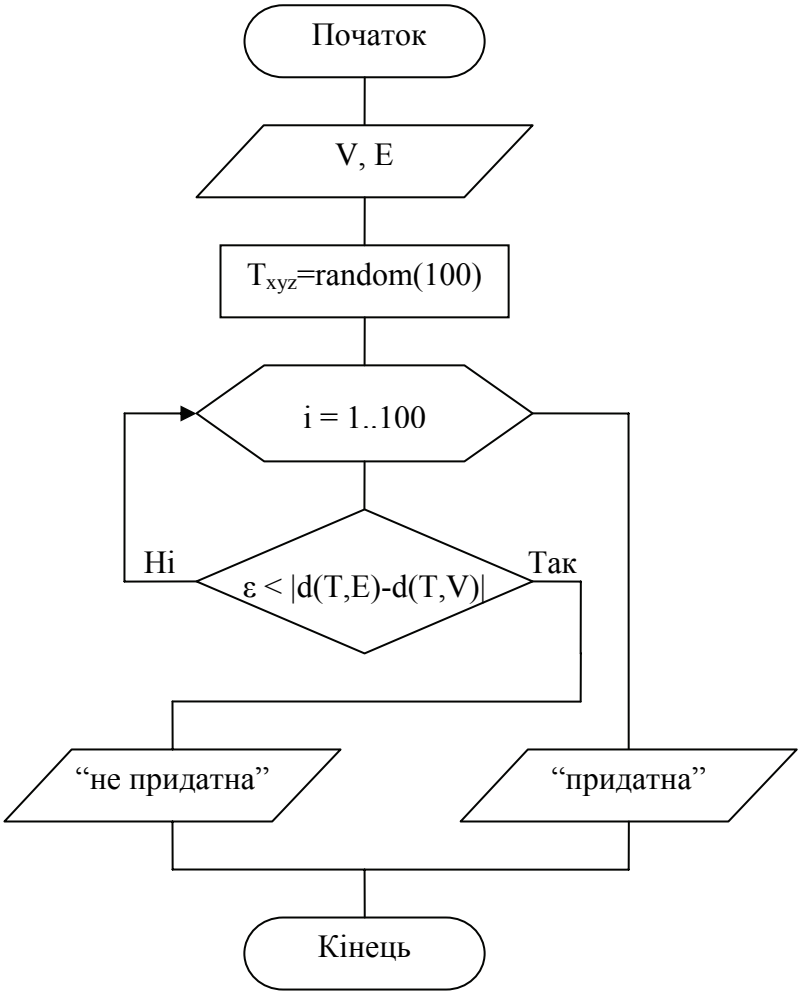


Рис. 1. Алгоритм порівняння за найближчими точками

бути різною. В алгоритмі береться довільним чином точка у просторі. Потім знаходяться відстані від цієї точки до найдальших до неї точок еталонної (d_e) та вимірюваної (d_m) деталі. Потім знову вибирається довільна точка і цей процес повторюється 100 разів. Якщо хоча б на одній ітерації виявилось, що $|d_e - d_m| > \varepsilon$ (ε – задана похибка), то деталь вважається непридатною.

4. Алгоритм порівняння за середніми відстанями

Цей алгоритм подібний до двох попередніх, але він знаходить середні відстані між довільно обраною точкою в просторі і всіма точками еталонної (d_e) та вимірюваної (d_m) деталі. Процес повторюється 100 разів. Різниця відстаней порівнюється з допустимою похибкою і якщо вона виявилася більшою, то деталь вважається непридатною.

5. Алгоритм порівняння за центрами мас

Центр мас – це геометрична точка, яка характеризує рух тіла або системи частин як цілого. На практиці центр мас майже завжди співпадає з центром тяжіння. В однакових деталей однаковий центр тяжіння. В даному алгоритмі, незалежно від кількості контрольних точок деталей, розраховуються їх центри мас і відстань між ними порівнюються з допустимою похибкою. Центр мас розраховується за формулами

$$X_c = \frac{X_1 + X_2 + ... + X_n}{n}\ ; Y_c = \frac{Y_1 + Y_2 + ... + Y_n}{n}\ ; Z_c = \frac{Z_1 + Z_2 + ... + Z_n}{n},$$

де n – кількість контрольних точок деталі, X_c, Y_c, Z_c – координати центру мас деталі, X_i, Y_i, Z_i – координати і-тої контрольної точки деталі, i = 1..n.

Якщо відстань між ними більше похибки, то деталь вважається дефективною.

6. Алгоритм порівняння за об’ємами

В цьому алгоритмі обчислюються об’єми еталонної та вимірюваної деталі. Об’єм обчислюється як сума об’ємів тетраедрів, які задаються чотирма точками, що послідовно беруться з множини точок. Об’єми тетраедрів обчислюються за допомогою формули мішаного добутку векторів, які йдуть з одної точки до трьох інших.

Формула для визначення об’єму тетраедра

$$V = \frac{1}{6}\begin{vmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ x_4 - x_1 & y_4 - y_1 & z_4 - z_1 \end{vmatrix},$$

де $X_1(x_1, y_1, z_1)$, $X_2(x_2, y_2, z_2)$, $X_3(x_3, y_3, z_3)$, $X_4(x_4, y_4, z_4)$ – чотири обрані точки в просторі.
Оскільки у однакових деталей однакові об’єми, то вони порівнюються між собою і якщо різниця між ними більше похибки, то деталь вважається дефективною.

7. Алгоритм порівняння за площами проекцій

В цьому алгоритмі обчислюються проекції еталонної та вимірюваної деталі на площини XY, XZ та YZ. Площа проекцій обчислюються як сума площ трикутників, які задаються трьома точками, що послідовно беруться з множини точок. Площі трикутників обчислюються за формулою векторного добутку

$$S_{xy} = \frac{1}{2}\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & 0 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & 0 \end{vmatrix} \text{ (для проекції XY);}$$

$$S_{xz} = \frac{1}{2}\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_2 - x_1 & 0 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & 0 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} \text{ (для проекції XZ);}$$

$$S_{yz} = \frac{1}{2}\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ 0 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} \text{ (для проекції YZ);}$$

Потім площі відповідних проекцій порівнюються між собою і якщо хоча б одна пара проекцій відрізняється більш ніж на задану похибку, то деталь вважається непридатною.

8. Алгоритм порівняння за площею поверхні

В цьому алгоритмі обчислюються площі поверхонь обох деталей (еталонної та вимірюваної). Площа поверхонь обчислюється, як сума площ трикутників які задаються трьома точками, що послідовно беруться з множини точок. Площі трикутників обчислюються, як і в попередньому алгоритмі, за формулою векторного добутку

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2}\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix}.$$

Якщо різниця площ деталей більша за допустиму похибку, то виготовлена деталь вважається дефективною.

9. Алгоритм міжточкового порівняння

В цьому алгоритмі деталі можуть бути задані різною кількістю точок. Нехай кількість точок в еталонній деталі дорівнює n_e, а у виміряній – n_m. В алгоритмі береться найменше з них: $n = \min(n_e, n_m)$. Потім з n вибирається довільним чином 100 точок і між ними знаходиться відстань. Якщо хоча б одна відстань більша за допустиму похибку, то деталь вважається непридатною.

Розроблено програмно-математичне забезпечення, що реалізує наведені вище алгоритми. У відповідності до об'єктно-орієнтованого підходу воно належить до третього ієрархічного рівня структури інформаційно-керуючої системи КВМ. Програмно-математичне забезпечення цього рівня призначається для вирішення функціональних задач, що реалізують процес вимірювання геометричних розмірів об'єктів; управління модельними режимами, системи підготовки до вимірювання, включаючи засоби юстировки та вводу даних на другому рівні. На третьому рівні реалізується оптимізація режимів роботи КВМ, включаючи рухи координат X, Y, Z та щупів самокерованої вимірювальної головки, а також функціонування в цілому при виконанні умов, а саме:

- дистанційне керування;
- тривимірне зображення;
- інформаційна сигналізація про аварійний режим.

Висновки

В даній роботі розроблено дев'ять алгоритмів порівняння виготовлених деталей та еталонних за контрольними точками. Ці контрольні точки знімаються за допомогою координатно-вимірювальної машини, а потім передаються на обчислювальний пристрій для виконання порівняння. Всі ці алгоритми не є досконалими, але якщо вони будуть працювати разом, то вийде доволі точний висновок про придатність чи дефективність виготовленої деталі. Висновок робиться за правилом більшості, тобто якщо більшість алгоритмів дали позитивний результат (деталь придатна), то деталь вважається придатною. Програмне забезпечення, що реалізує розроблені алгоритми, може бути корисним для операторів станка з числовим програмним управлінням та контролерів якості виготовлених деталей.

Список літератури

1. *Квасников В.П.* Повышение точности и быстродействия информационно-измерительных систем механических величин объектов со сложными пространственными поверхностями / Квасников В.П. – К.: Черкассы, 2002. – 192 с.

2. *Гапшис А. А.* Координатные измерительные машины и их применение / Гапшис А. А., Каспарайтис А. Ю., Модестов М.Б. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.

3. *Новицкий П.В* Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

4. *Борковська Л.О.* Інформаційні технології розробки програмно-математичного забезпечення координатно-вимірювальних машин / Борковська Л.О. – "Радіоелектроніка. Інформатика. Управління" № 2, 2005. – С. 106-110.

УДК 681.32:638.562:51.65.012

В.М. Ільченко, к.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)
Є.М. Осінній, асистент
(Черкаський державний технічний університет, Україна)

ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЕТАЛІ МАШИНИ-АВТОМАТА

В наш час актуальною є проблема автоматизації процесів конструювання. Одним з напрямків автоматизації процесів конструювання є використання параметричних моделей (ПМ), на основі яких створюються параметричні кресленики. Недоліком даного методу є значні витрати часу на створення ПМ, оскільки на початковому етапі конструювання не завжди відомий набір параметрів та межі їх зміни, відсутня методика створення параметричної моделі.

Постановка задачі. На основі системного підходу [1, 2], аналізу параметричних можливостей сучасних комп‘ютерних систем, найбільш поширених у вітчизняному машинобудуванні (КОМПАС-3D, T-Flex) сформувати методику створення параметричних моделей.

Системний підхід до створення ПМ деталей. Одним з основних етапів методики деталювання є визначення форми деталі. Головна відмінність параметричного кресленика деталі від звичайного полягає в тому, що в параметричний кресленик закладено можливість зміни форми та розмірів деталі. Така можливість закладається на етапі побудови ПМ, на основі якої буде створюватись параметричний кресленик деталі.

Першим кроком побудови ПМ деталі повинно бути ***визначення параметрів моделі та меж їх зміни*** (рис. 1). Саме на цьому етапі перед проектувальником постає проблема встановлення меж зміни параметрів, а особливо параметрів форми деталі через певну складність їх урахування.

Нами пропонується в якості базової деталі для побудови ПМ використовувати ***комплексну деталь***, яка використовується при написанні групових технологічних процесів виготовлення деталей [3]. Такий підхід пояснюється використанням методики ***системного підходу*** до проектування машин. Перевагою використання групової деталі по-перше є те, що в неї уже закладено межі зміни форми, що є найбільш складним для визначення на етапі вибору базової деталі. По-друге, для таких деталей уже існують готові технологічні процеси виготовлення , що дає скорочення термінів підготовки виробництва. Основним недоліком є відносна складність створення такої моделі, та деяка її надлишковість.

Основи методики створення ПМ деталі. Принципи створення комплексної деталі загально відомі – на базі виділених груп поверхонь деталі формується узагальнений вигляд деталі, яка й називається комплексною [3].

Слід розуміти, що ПМ деталей створюються на основі аналізу групи машин, яку ми збираємось параметризувати. Саме тому на етапі постановки технічного завдання повинна бути виділена узагальнена машина та її параметри, на основі яких будуть створюватись ПМ деталей (рис. 2).

В якості розмірних параметрів можна приймати як усі розміри деталі, так і лише певні з них. Деякі розміри можуть бути сталими, а деякі пов‘язаними з іншими розмірами. При цьому числові значення змінюються у межах стандартних розмірних рядів.

Висновок

Проблема створення ПМ деталі вирішується поетапно. В даному дослідженні пропонуються основи методики, загальний алгоритм побудови ПМ деталі, наводиться рішення найбільш важливого питання – визначення базової деталі та її параметрів.

Використання ***комплексної деталі*** в якості базової спрощує створення ПМ деталі та дає скорочення термінів підготовки виробництва.

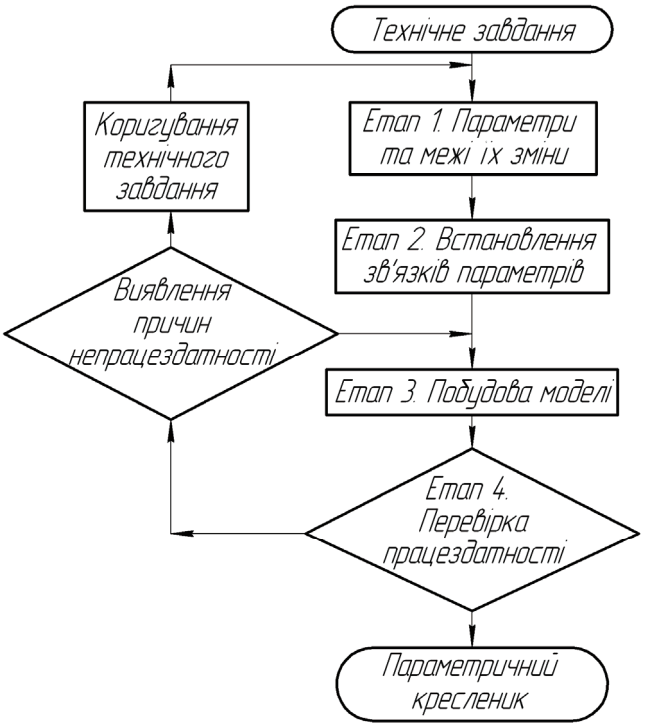


Рис. 1. Загальний алгоритм побудови ПМ деталі

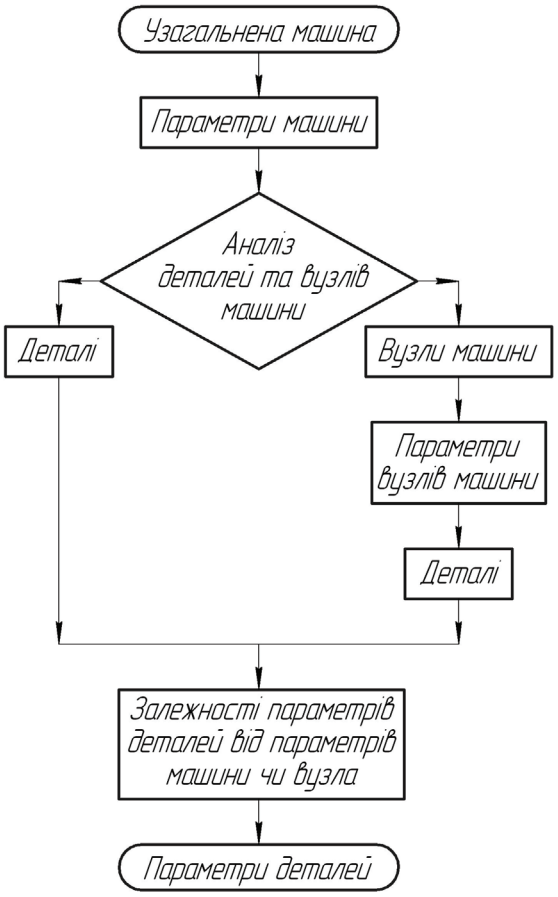


Рис.2. Алгоритм визначення параметрів деталей машини

Література

1. *Тимченко А.А.* Основи системного проектування та системного аналізу складних об‘єктів: Підручник: У двох книгах. / Либідь. – К., 2000. – Кн. 1: Основи САПР та системного проектування складних об‘єктів / За ред. В.І. Бикова. – 272 с.

2. *Тимченко А.А.* Основи системного проектування та системного аналізу складних об‘єктів: Підручник: У двох книгах. / Либідь. – К., 2004. – Кн. 2: Основи системного підходу та системного об‘єктів нової техніки / За ред. Ю.Г. Леги. – 288 с.

3. *Митрофанов С.П.* Научная организация машиностроительного производства. Изд. 2-е, доп. и перераб. – Л.: Машиностроение (Ленингр. Отд-ние), 1976. – 600 с.

УДК: 621.643:681(043.2)

Л.В. Коломієць, д.т.н., проф.,
(Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Україна)
О.Ю. Шепель, аспірантка
(Національний авіаційний університет, Україна)

СИНТЕЗ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

В роботі запропоновано структуру автоматизованої інформаційно- вимірювальної системи контролю за станом магістральних трубопроводів з підвищеними метрологічними характеристиками.

При вирішенні задач технічної діагностики магістральних трубопроводів (МТ) виникає необхідність в оптимізації та забезпеченні максимальної точності діагностування, що в свою чергу мінімізує зміну структурного стану металу труб.

Однією з умов забезпечення надійної та ефективної експлуатації системи трубопровідного транспорту є створення автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи (АІВС).

Актуальність розробки АІВС обумовлена складністю методики розрахунку міцності та довговічності обладнання з урахуванням результатів неруйнівного контролю. Проведення експертизи по АІВС є тривалим і трудомістким процесом. Це пов'язано з тим, що методика містить комплекс заходів щодо збору даних про досліджуваний об’єкт, а також численні математичні обчислення. Внаслідок цього існує ймовірність виникнення помилок і неточностей в процесі проведення експертизи. Це може призвести до необгрунтованої перебраковки (заборони на експлуатацію елементів конструкцій, зокрема труб газотранспортних чи нафтотранспортних систем з допустимими дефектами) і недобраковки (допуску до експлуатації з неприпустимими дефектами).

Отримані результати аналізу свідчать, що оцінка міцності труб при технічному діагностування відрізняється від розрахунків на міцність при проектуванні [1]. Основна мета технічного діагностування досліджуваного об’єкту тривалої експлуатації полягає в підтвердженні його працездатності на практиці. Вимоги, викладені в нормативно-технічних документах щодо виготовлення трубопроводів є досить жорсткими і не враховують той факт, що в процесі експлуатації під впливом сумісної дії механічних навантажень і корозійних робочих середовищ відбувається деградація властивостей металу, що призводить до утворення в матеріалі труб тріщиноподібних дефектів.

Внаслідок цього, трубопроводи тривалої експлуатації, можуть не відповідати вимогам документів на проектування. Технічна діагностика відповідних елементів конструкцій повинна оцінювати повноту використання коефіцієнтів запасу (коефіцієнти, які повинні компенсувати можливі неточності і дефекти, допущенні при виготовленні та/або придбані в процесі експлуатації, забезпечити міцність, надійність і працездатність об’єкту). Найчастіше на діагностику стану досліджуваного об’єкту відводяться стислі терміни, що обумовлює прискорені темпи досліджень і, як правило, не дозволяє отримати об'єктивну загальну картину стану досліджуваного об'єкту. У зв'язку з цим зростає ймовірність формування некоректних експертних висновків, пов'язаних з неточностями при зборі даних і помилками на етапі обчислення [2].

Розглянемо структуру АІВС, що представляє собою цілісну і повноцінну систему, яка складається зі взаємозалежних і взаємодоповнюючих елементів (підсистем). Основною функціональною характеристиками АІВС є керування оптимізацією роботи обладнання і технологічного процесу за діагностичними ознаками. Ідентифікація ознак, які діагностують, дасть змогу впливати на причини, що їх викликали, задовго до появи граничних відхилень параметрів працюючого устаткування і технологічного процесу. При цьому система

керування оптимізацією параметрів технічної діагностики устаткування і технологічного процесу повинна діагностувати, управляти й оптимізувати роботу обладнання і технологічного процесу в умовах появи незначних відхилень режимів роботи.

Крім основних елементів система містить підсистему контролю некоректних дій і підсистему інформаційно-довідкової підтримки для підвищення точності регулювання і рівня технічної експлуатації. Система має зовнішні зв'язки з такими елементами, як «Досліджуваний об'єкт», «Експерт», «Персональний комп'ютер», «Мікропроцесор» та «Постійна пам'ять». Взаємодія АІВС з вище зазначеними елементами припускає використання системи для одержання вихідних даних, що характеризують пошкодження та відповідно визначення придатності до подальшої експлуатації досліджуваного об'єкту. На рис. 1 представлена структура АІВС, її внутрішні та зовнішні зв'язки.

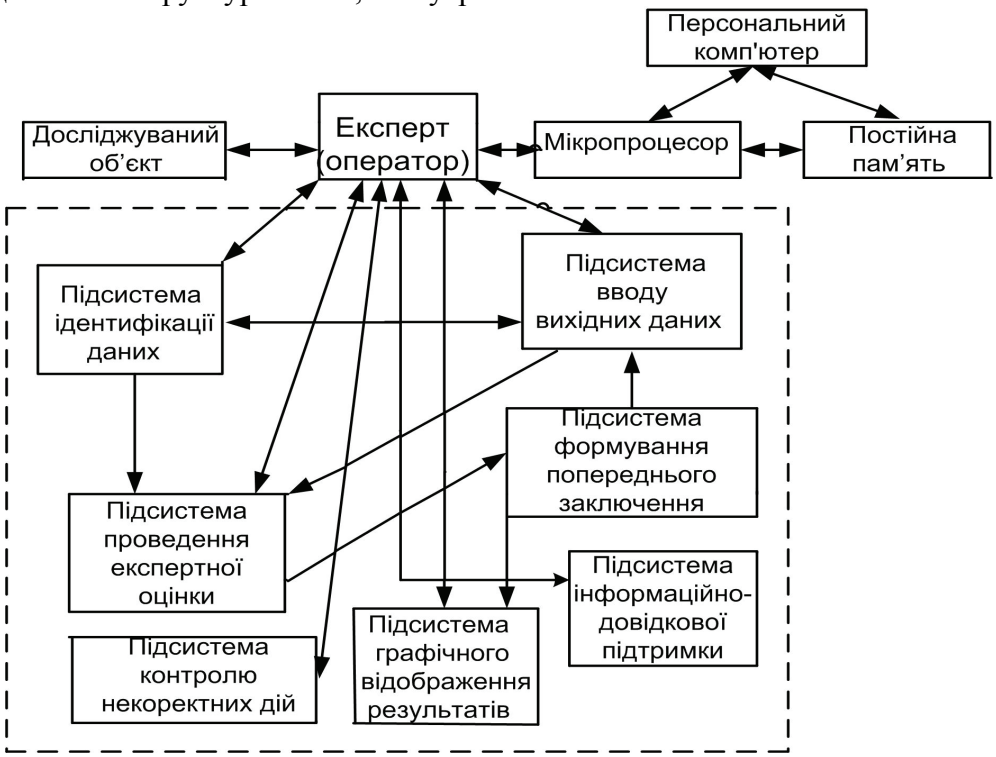


Рис. 1. Структура автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи

До складу входять наступні пристрої:

- віддалений термінал, що забезпечує прийом, накопичення та обробку інформації, її візуалізацію, формування сигналів небезпеки за значеннями і трендами параметрів, передачу команд для зміни режимів роботи однієї або декількох автономних підсистем. Віддалений термінал представляє собою комплект обчислюваної техніки з підключеними модемом для прийому даних, передачі команд через супутникову мережу і периферійних пристроїв для зберігання і відображення інформації. Його конфігурація визначається числом обслуговуючих автономних підсистем та визначених фізичних параметрів, а також частотою опитування модулів управління, вимірювання і комутації;

- датчики (первинні перетворювачі фізичних величин в електричні сигнали);

- центральна обчислювальна станція (ЦОС), складається з центрального контролера, приймально-передавального пристрою супутникової мережі зв'язку (модема з антеною). Конструктивно ЦОС розташовується в герметичній оболонці. Центральний контролер містить обчислювальний пристрій, незалежну пам'ять для зберігання отриманих даних, реле включення живлення супутникового модему і модулів вимірювання управління та комутації (МУК), годинник реального часу, що забезпечує періодичні вимірювання та тимчасову прив'язку вимірювань. АКБ забезпечує автоматизовану роботу системи без використання зовнішніх джерел енергії.

Герметичні вимірювальні пристрої, до яких відносяться МУК, призначені для перетворення електричних сигналів з датчиків у цифровий код і передачі по з'єднувальним кабелям даних в ЦОС. МУК мають різні варіанти використання для вимірювання параметрів електрохімічного захисту, блукаючих струмів, параметрів акустичної емісії, тензометрії і т.п.;

Результатом роботи АІВС є співвідношення ряду ключових показників стану досліджуваного об'єкту та лімітуючих критеріїв, які визначаються виходячи з механізму пошкодження, рівня оцінки і геометричної форми.

Якщо результати діагностування показують, що об’єкт придатний до експлуатації в даних умовах, то його подальше використання можна продовжувати при тих самих значеннях експлуатаційних параметрів. При цьому необхідно розробити відповідні програми, що визначають обсяг, методи і періодичність робіт по оцінці технічного стану об’єкту до наступного технічного діагностування. Якщо ж за результатами діагностування обладнання визнано непридатним до експлуатації, то передбачається перегляд значень робочих параметрів обладнання на основі відповідних розрахункових методик.

У сучасному метрологічному забезпеченні інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) все більше уваги приділяється програмному забезпеченню, яке використовується для оброблення результатів вимірювань або обчислення параметрів об’єктів вимірювань. Метрологічне забезпечення систем визначення метрологічних характеристик тільки вимірювальних каналів без урахування програмного забезпечення не надасть гарантію отримання правильного результату вимірювань. Програмні засоби систем виконують функції вимірювального перетворення фізичних величин, їх оброблення та візуалізацію [3].

Визначення відповідних метрологічних властивостей програмних засобів, які мають здатність впливати на результати і точність виконання функцій системами, має проводитися з урахуванням технічних та експлуатаційних характеристик обчислювального середовища, в якому функціонують програмні засоби.

Відомо, що засоби обчислювальної техніки описуються моделлю кінцевого автомата [4], який задається кінцевою множиною X вхідних даних, кінцевою множиною Y вихідних даних, кінцевою множиною Z внутрішніх станів, початковим станом z_0, $z_0 \in Z$, перехідною функцією $\varphi(z,x)$ та функцією виходу $\psi(z,x)$.

Автомат функціонує у дискретному часі, моментами якого є такти – рівні інтервали часу, кожному з яких відповідають фіксовані значення вхідного та вихідного масивів даних і внутрішні стани [5]. В кожний момент t=0,1,2….. дискретного часу автомат знаходиться в певному стані $z(t)$ із множини Z станів автомату, у початковий момент часу t=0 він завжди буде знаходитися у початковому стані $z(0)=z_0$. На момент t, будучі у стані $z(t)$, автомат сприймає на вході сигнал $x(t)$ і видає на виході сигнал $y(t)=\psi[z(t),x(t)]$, переходячи до стану $z(t+1)=\psi[z(t),x(t)]$.

Розглянемо основні метрологічні моделі обчислювальних компонентів для характерних обчислювальних процедур, що реалізуються у складі інформаційно-вимірювальних систем.

Для ОК, що реалізують процедуру розрахунків за формулами, характерним є те, що конкретному фіксованому масиву вхідних даних $X(t_n)$, з похибками $\Delta X(t_n)$, відповідає фіксований вихідний масив $Y(t_n)$ з похибками $\Delta Y(t_n)$, що означає наявність у таких ОК тільки одного метрологічного стану, тобто реалізується залежність $\Delta Y(t_n)=\psi[X(t_n)]$. В цьому випадку матриця перетворення похибок вхідних даних спрощується до виразу $f=\Delta Y(t_n)/\Delta X(t_n)$, який має суть коефіцієнта перетворення похибки вхідних даних. Звідси метрологічна модель обчислювальних компонентів визначається за формулою

$$\Delta_s=\Delta_k\times f \qquad (1)$$

Обчислювальні компоненти, що реалізують процедури наближених обчислень, за конкретним фіксованим масивом вхідних даних $X(t_n)$ з похибками $\Delta X(t_n)$, видають на вихід

масив послідовних значень $Y(t_n)$, кожне з яких є наближеним значенням фізичної величини, що обчислюється. Зрозуміло, що ці значення мають похибки $\Delta Y(t_n)$, які залежать від числа параметрів наближень S (кількість ітерацій по циклу, значення числа елементів розбиття інтервалу чисельного інтегрування тощо) і зменшуються із збільшенням часу обчислень. Звідси, ОК цього типу мають кількість метрологічних станів Z_s, яка дорівнює числу параметрів наближень, при цьому зміна станів має монотонний детермінований характер. Матриця перетворення має вигляд матриці-стовпця, елементами якого є поточні значення функцій перетворення похибок вхідних даних $f(Z_s)$ і узагальнена метрологічна модель для цього типу ОК має наступний вигляд:

$$\Delta Y(t_n) = \Delta X_0 \; f(Z_s) \qquad (2)$$

де, ΔX_0 - похибка першого наближення результату обчислень.

Висновок

Запропонована структура автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи дає змогу забезпечити єдність і точність комплексного діагностичного моніторингу магістральних трубопроводів.

Основною характеристикою оцінки метрологічних властивостей обчислювальних компонентів є функція перетворення похибок вхідних даних.

Перевага АІВС полягає у своєчасному виявленні граничних станів елементів конструкцій. Завдяки комплексному підходу при використанні АІВС з'являється можливість планомірно оцінювати придатність до експлуатації систем трубопровідного транспорту, контролювати динаміку зносу і при досягненні порогового значення міцності (товщини стінки та ін.) здійснювати ремонт чи заміну пошкодженого елементу, а не чекати руйнівних наслідків зносу.

Список літератури

1. *Гетман А.Д., Козин Ю.Н.* Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления. М.: Энергоатомиздат, 1997. - 288 с.

2. *Шумський П.Ю., Жуков Б.А.* Диагностика и контроль состояния конструкций с помощью автоматизированной системы оценивания состояния технологического оборудования // Контроль. Диагностика. – 2009. - №6. – С. 40-44.

3. Кричевець О.М. Розроблення та дослідження метрологічних моделей обчислювальних компонентів вимірювальних інформаційних систем. МКМИТ, Харьков: АНПРЄ, ХНУРЄ, 2005. – С. 90-93.

4. *Кобринський Н.Е., Трахтенброт Б.А.* Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. – 404 с.

5. *Глушков В.М.* Синтез цифрових автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. – 476 с.

УДК 531

В.А. Шевчук (Национальный авиационный университет, Украина)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ПОЛИГРАФЕ

В современных исследованиях связанных с оценкой параметров реагирования человека на различные воздействия часто применяются сигналы его вегетативных функций и, в частности, сигнал электро-дермальной активности.

Несмотря на большую продолжительность использования сигнала полиграфа в различных исследованиях, есть все основания считать, что не до конца изученными остались важнейшие исходные положения теоретического и методического плана. Актуальность поиска новых подходов к решению такого типа задач связана с тем, что большинство вопросов по применению параметров полиграфа разрабатывались для исследовательских целей, решение которых было возможно по данным, получаемым на уровне качественных оценок

Под информативностью измерений имеется в виду обеспечение регистрации всех компонентов сигнала, в том числе и тех, которые прослеживаются в виде минимальных изменений сигнала. Это требование связано с вопросами выбора отведения сигнала и обеспечения максимальной чувствительности измерения. Максимальная чувствительность может быть реализована только в том случае, если при этом не нарушается предшествующее требование адекватности регистрации динамики сигнала, что возможно только при соблюдении соответствующей точности измерений.

Поскольку реальные информационные системы (ИС), предназначенные для сбора и обработки информации о состоянии некоторого объекта за время его работы, не могут обеспечить ее получения без потерь, обусловленных ограниченной точностью и надежностью аппаратуры, то возникает задача оценки величины этих потерь, т. е. задача определения эффективности системы. В качестве меры эффективности таких ИС предлагается использовать так называемую интегральную пропускную способность *W(t)*, представляющую собой отношение количества информации l_y, полученной на выходе ИС за время ее работы t, к количеству информации l_x, поступившей на ее вход за то же время:

$$W(t) = \frac{l_y(t)}{l_x(t)}. \tag{1}$$

Базируясь на понятиях энтропийных мощностей σ_x^2 входного сигнала и погрешности σ_ε^2 системы, количество информации, полученной на выходе ИС при ее безотказной работе за время t, можно определить по формуле

$$l_0(t) = \frac{1}{2} Ft \ln \frac{\sigma_x^2 + \sigma_\varepsilon^2}{\sigma_\varepsilon^2}, \tag{2}$$

где F — частота опроса параметров объекта.

Величина информации l_x, поступившей на вход системы за время t, определится выражением

$$I_x(t) = \Omega t \ln \sigma_x^2 2\pi l, \tag{3}$$

где Ω — частота, ограничивающая спектр входного сигнала системы.

Поскольку мы имеем реальную ИС, то количество информации, полученной на выходе системы l_y за время $_t$, будет меньше, чем $I_0(t)$, так как из-за наличия отказов система проработает меньшее время (t_i), определяемое ее надежностью *P(t)*:

Полагая для простоты $\sigma_x^2 >> \sigma_x^2$, что как правило, имеет место на практике, получим общее выражение для эффективности информационной системы:

$$W(t) = \frac{F}{2\Omega} W_H(t).W_T(t),$$

где

$$W_H(t) = \frac{t_1}{t} = \frac{1}{t}\int_0^t P(t)dt, \qquad W_T(t) = 1 - \frac{\ln .\sigma_\varepsilon \sqrt{2\pi l}}{\ln .\sigma_x \sqrt{2\pi l}}.$$

Получено удобную математическую запись *W(t)* для рассмотрения зависимости эффективности информационной системы от ее технических характеристик. Одним из примеров практического применения введенной меры эффективности *W(t)* является возможность формулировки на этапе проектирования требований к точности и надежности системы, обеспечивающих ее заданное значение W_3. Для этого находятся линии постоянных значений *W*= const в координатной системе ($\sigma_\varepsilon \sqrt{2\pi l}$, λt), которые представлены на рис. 1.

Задаваясь определенным значением W_3, можно установить связь надежности и точности. Связь этих величин чисто информационная и характеризуется тем, что в любой точке *K* линии *W= const* (рис. 1) снижение значения надежности системы (а) вызывает такую же величину потерь информации, как и снижение точности (в).

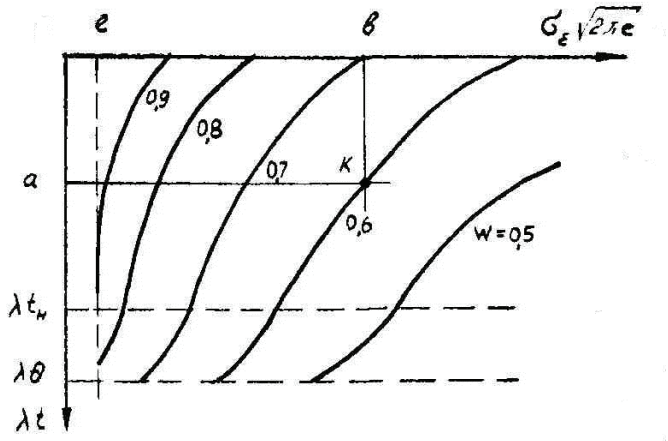


Рис. I. Линии постоянной эффективности информационной системы

Используя эту связь и сопоставляя одно из значений точности или надежности с существующими техническими возможностями практической реализации информационной системы, можно обосновать выбор их определенного сочетания для достижения заданной эффективности.

В приведенных выше выражениях задача определения эффективности решалась для случая, когда система обладает постоянной во времени погрешностью, а ее надежность есть функция времени. Поэтому расширим задачу учетом временных зависимостей величин погрешностей системы.

Выберем модели процессов потери точности среди случайных процессов, имеющих определенную функциональную зависимость от времени. Воспользовавшись методом статистической линеаризации, рассмотрим три вида таких процессов (рис.2) и определим для них составляющую $W_T(t)$.

а) б) в)

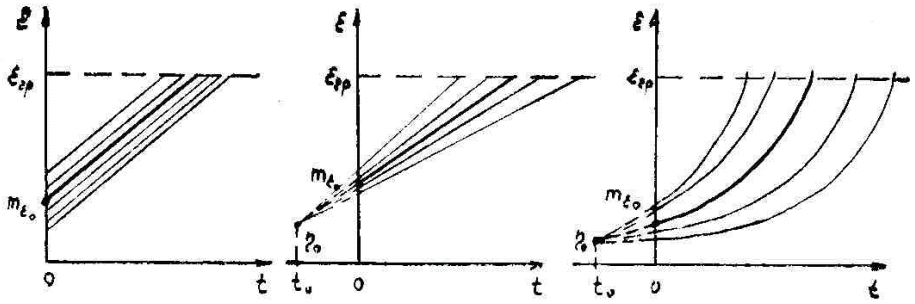


Рис. 2. Модели случайных процессов изменения погрешности информационной системы:

а—линейная равномерная; б—линейная веерная; в—экспоненциальная веерная

Линейная равномерная модель (рис. 2,а) изменения погрешности системы ε:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \upsilon t.$$

Здесь ε_0 и υ - случайные величины соответственно начальной погрешности системы и скорости ее изменения, имеющие нормальный закон распределения. При этом считается, что при $\sigma_y = 0$

$$\sigma_\xi^2(t) = \sigma_{\varepsilon 0}^2 = const.$$

Тогда

$$W_T(t) = 1 - \frac{\ln \sigma_{\varepsilon 0} \sqrt{2\pi l}}{\ln \sigma_x \sqrt{2\pi l}}$$

Линейная веерная модель (рис. 2,б) изменения погрешности системы ε, имеющая полюс (t_0,η_0):

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \upsilon t .$$

Здесь полагаем, что $\sigma_y \neq 0$ и при t>0

$$\sigma_\varepsilon^2(t) = \sigma_{\varepsilon 0}^2 + t^2\sigma_v^2 + 2t\sigma_{\varepsilon_0}\sigma_v.$$

Тогда

$$W_T(t) = 1 - \frac{\ln.(\sigma_{\varepsilon_0} + t\sigma_v)\sqrt{2\pi l}}{\ln.\sigma_x\sqrt{2\pi l}}$$

Экспоненциальная веерная модель (рис. 2,в) изменения погрешности системы ε, имеющая полюс (t_0,τ_{i0}) и $\sigma_v \neq 0$:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \exp(\upsilon t).$$

Будем считать, что нам задано максимальное значение погрешности системы $\varepsilon_{ГР}$. Тогда условие

$$\varphi = \varepsilon_{ГР} - \varepsilon(\varepsilon_0, \upsilon, t) > 0$$

можно рассматривать как одно из условий работоспособности информационной системы, вероятность выполнения которого будет служить мерой ее надежности (относительно постепенных отказов) [2].

Для линейной равномерной модели (рис. 2,а) закон распределения точек пересечения границы нормалей и моменты времени t_H и Θ равны:

$$l_H = \frac{\varepsilon_{гр} - m_{\varepsilon_0} - 3\sigma_{\varepsilon_0}}{m_V}; \quad \Theta = \frac{\varepsilon_{ГР} - m_{\varepsilon_0}}{m_V}.$$

Зная выражения для $\sigma_\varepsilon^2(t)$ и сравнивая определенные моменты времени t с соответствующими значениями $\sigma_x\sqrt{2\pi l}$, можно воспользоваться графиками (рис. 1) как для определения эффективности информационной системы, так и для выбора необходимых

значений ее точности и надежности. При этом моменты времени t_H и Θ должны соответствовать выбранным моделям изменений точности.

Выводы

Рассмотрение информационной системы как канала передачи и обработки информации с помехами позволяет создать показатель эффективности *W(t)*, отражающий понятие точности и надежности системы, и обеспечить формализованный выбор их значений.

Список литературы

1. К- Шеннон. Работы по теории связи и кибернетики. ИЛ, 1963.
2. А. Н. Смирнов. Надежность устройств автоматики и телемеханики. Минск, «Вышэйшая школа», 1973.
3. Эдсолл Дж., Гатфренд Х. Биотермодинамика. Изучение равновесных биохимических процессов. М.,"Мир", 1986. – 243 с.
4. Ham W. Adaptive control based on expicit model of robot manipulator // IEEE. Trans. Automat. Control.-1993.Vol.38 №4. P.654-658.
5. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации.-М.: Наука, 1984.-284с.
6. Цветков Э. И. Процессорные измерительные средства.- Л.: Энергоатомиздат, 1989.-224 с.
7. Mirushnik I., Bultunov G., Shiegin V. Problems of Sensing and Spatial Motion control in Active Robotics // Proc. Of Intern. Conf on Infomatics and Control St. Petersburg.-1997.-Vol. 3, P. 1267-1276.
8. Стародетко Е.А. Теория и методы автоматизированного проектирования сложных систем и автоматизация научных исследований. Сборник научных трудов.-Минск: 1990.-126 с.

УДК 531.07

С.А. Сухой, Е.П. Сластенко
(Национальный авиационный университет, Украина)

ПЕРЕДАЧА РАЗМЕРА ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ В КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

Рассмотрены вопросы передачи размера единицы длины при сохранении точности определения основных физических величин, а также точности первичных эталонов и входящих в их состав интерферометров в области прецизионного машиностроения.

Важной отличительной чертой указанных средств является воспроизведение единицы длины и передача ее размера в особых условиях, определяемых спецификой криволинейной формы поверхности, а также спецификой выделения шероховатости из общей совокупности неровностей. Использование современных интерферометров позволяет осуществлять передачу размера единицы длины, определенной через фундаментальную физическую константу - скорость света, в измерительные системы промышленности с максимальной точностью. Различные типы измеряемых поверхностей и пространственные масштабы их геометрических параметров требуют и разные специфические средства воспроизведения, хранения единицы длины и передачи ее размера в особых условиях измерений. Их совокупность составляет эталонную базу координатных измерений в прецизионном машиностроении.

При измерении формы и параметров поверхности применяют следующие СИ: кругломеры (отклонения от круглости), эвольвентомеры (отклонения от эвольвентности), плоскомеры (отклонения от плоскостности) и т. д. В конструкции этих координатных средств заложен принцип сравнения реальной контролируемой поверхности с эталонной, имеющей форму номинальной. Отклонение формы контролируемой поверхности от эталонной количественно оценивают по расстоянию от точек реальной поверхности до эталонной по нормали к ней.

Таким образом, непременным требованием к специализированным координатным СИ отклонений формы является наличие эталонной координатной поверхности. При этом недостаточно измерять просто расстояния между двумя точками указанных поверхностей. Необходимо задавать и сохранять в процессе измерений форму эталонной поверхности, т. е. задавать криволинейную систему координат, имеющую в качестве координатной поверхности эталонную (номинальную) форму. Передавать размер единицы длины при измерении отклонения формы реальной поверхности необходимо по нормали к эталонной поверхности, поэтому прямая передача размера единицы длины от первичного эталона невозможна без существенной потери точности. Именно по этой причине для разных типов номинальной формы поверхностей необходимы и существуют свои независимые, отличающиеся в приборном и методическом отношении виды измерений и системы воспроизведения и передачи размеров единицы длины в области измерений отклонения от круглости, плоскостности, эвольвентности и шероховатости.

В таких измерительных системах требуется кроме размера единицы длины передавать форму координатной поверхности. Это можно сделать с помощью эталонных мер номинальной формы (плоской, сферической и т. д.). Таким образом, единственной функцией эталонных мер является задание и сохранение с необходимой точностью вспомогательной координатной поверхности.

Практическая реализация единицы длины осуществляется с помощью интерферометров с определенной длиной волны. Наиболее точный способ передачи размера единицы длины координатным СИ - интерференционный метод. Несмотря на то, что для измерения отклонения формы и шероховатости поверхности существует множество разновидностей этого метода, суть обработки интерференционной измерительной

информации можно продемонстрировать на примере конкретного интерферометра Тваймана-Грина, используемого для контроля формы поверхностей (рис. 1).

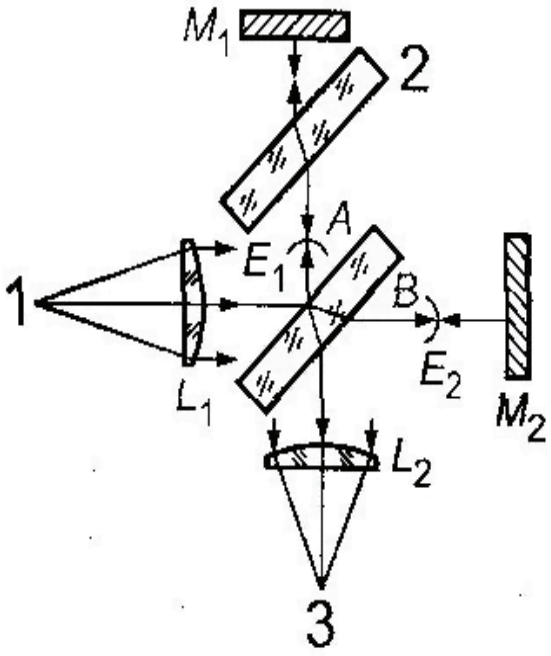


Рис. 1. Оптическая схема интерферометра Тваймана-Грина для контроля формы оптических поверхностей:1-источник света; 2- компенсатор; 3- фотоприемник

Оптическая система интерферометра проектирует волновой фронт E_1, сформированный из лазерного пучка, на эталонную координатную поверхность M_2 номинальной формы. Одновременно плоскопараллельная пластина проектирует волновой фронт E_2, отраженный от контролируемой поверхности M_1, имеющей одинаковую с эталонной номинальную форму, но с отклонениями $\varphi_2(x, y)$. Фотоприемник *3* регистрирует распределение интенсивностей, представляющее интерферограмму взаимодействия волновых фронтов E_1, E_2.

Интенсивность света - усредненное во времени количество энергии, пересекающее единицу площади, перпендикулярную направлению потока энергии, в единицу времени. На основании решения уравнений Максвелла (для электрического поля в виде плоской волны) интенсивность определяется как

$$I = (c/4\pi)\sqrt{\varepsilon/\mu}E^2 = (c/4\pi)\sqrt{\mu/\varepsilon}H^2,$$

где для света, распространяющегося в одной и той же среде со скоростью *c*, $\langle E^2 \rangle$ можно считать мерой интенсивности.

Интерференционная картина на выходе интерферометра представляет собой результат суперпозиции двух монохроматических волн:

эталонной $E_1 = E_1(x,y)\exp\{-i\frac{2\pi}{\lambda}(\frac{x^2+y^2}{2r_1})\}$ и

исследуемой $E_2 = E_2(x,y)\exp\{-i\frac{2\pi}{\lambda}(\frac{x^2+y^2}{2r_2}) + \varphi_2(x,y)\}$.

В векторном виде интерференционную картину представим суммой $E = E_1 + E_2$, следовательно, $E^2 = E^2_1 + E^2_2 + 2E_1E_2$.

В скалярном виде уравнение интерференции имеет вид

$$I_{(x,y)} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos 2\pi[\varphi_2(x,y)] \quad (1)$$

где $I_1 \sim \left|E_1^2\right|$; $I_2 \sim \left|E_2^2\right|$; λ - длина волны монохроматического источника света; *x, y* — декартовы координаты выходного зрачка; $r_1 r_2$ - радиусы эталонной и исследуемой сфер взаимодействующих волновых фронтов;

$\varphi_2(x, y)$ - функция аберрации исследуемого волнового фронта (отклонение от номинальной формы исследуемой поверхности).

Таким образом, искомой функцией (отклонением формы) является $\varphi_2(x, y)$, которую можно найти из (1) при известном, зарегистрированном фотоприемником, значении интенсивности $I_{(x, y)}$.

Интерференционная картина волновых фронтов, отраженных от эталонной и контролируемой поверхностей, регистрируется в виде интерферограммы. Затем по ней определяют координаты центров интерференционных полос, являющихся энергетическими максимумами или минимумами интенсивности. Согласно принципу интерференции в координатах максимумов интенсивности на интерферограмме разность хода волновых фронтов равна целому числу длин волн. Таким образом, по оси, ортогональной плоскости интерферограммы, отсчитывают отклонения формы контролируемого волнового фронта от референтного (в длинах волн). К этим отклонениям аддитивно добавляют параметры настройки интерферометра: наклон эталонного волнового фронта по отношению к контролируемому и его дефокусировку, представляющие неопределенности измерений систематического характера. В дополнение к этому могут учитываться аберрации волновых фронтов оптической системы, также представляющие неопределенности измерений систематического характера, в случае, если ими нельзя пренебречь по сравнению с отклонением формы контролируемой поверхности. Поскольку и параметры настройки интерферометра, и указанные аберрации являются детерминированными функциями, представляемыми аналитически, их можно выявить и устранить математическими методами. То, что осталось после вычитания, и есть отклонение формы контролируемого волнового фронта от референтного на заданной системе координат.

Описанный выше метод называется амплитудным интерференционным методом координатного измерения отклонения формы.

Суть амплитудно-фазового метода состоит в следующем. При отсутствии шума выходной сигнал из гетеродинного интерферометра переменного тока можно записать как:

$$i_{(x,y)} = i_{\max}[1 + \gamma \sin(\omega t + \Phi_{(x,y)})], \quad (2)$$

где γ - видимость полосы; ω - частота модуляции; Φ - измеряемая фаза.

Далее выполняют деление периода синусоидального сигнала (например, на четыре сегмента) и подсчитывают количество фотонов, обнаруженных для каждого сегмента. Пусть *P* - количество фотоэлектронов, обнаруженных за один период T, $P = i / e$ или

$$P = \int_{-T/8}^{T/2} idt/e + \int_{T/8}^{3T/8} idt/e + \int_{3T/8}^{5T/8} idt/e + \int_{5T/8}^{TT/8} idt/e = A + B + C + D \quad (3)$$

где *e* - заряд электрона.

При подстановке (2) в (3) получаем

$$A = P(\frac{1}{4} + \frac{\sqrt{2\gamma}}{2\pi}\sin\Phi_{(x,y)}; \qquad B = P(\frac{1}{4} + \frac{\sqrt{2\gamma}}{2\pi}\cos\Phi_{(x,y)};$$

$$C = P(\frac{1}{4} + \frac{\sqrt{2\gamma}}{2\pi}\sin\Phi_{(x,y)}; \qquad D = P(\frac{1}{4} + \frac{\sqrt{2\gamma}}{2\pi}\cos\Phi_{(x,y)};$$

Отсюда отклонение формы волнового фронта определяется согласно выражению

$$\Phi_{(x,y)} = arctg(\frac{A-C}{B-D}).$$

Амплитудно-фазовым методом можно определять отклонения формы в общем случае по n сегментам.

Существуют также другие методы получения первичной измерительной информации о волновом фронте, представляющем интерференцию референтного и контролируемого фронтов. При определенных условиях точность этих методов может быть существенно выше, чем у амплитудного метода. Однако «координатный аспект», заключающийся в измерении на заданной системе координат точек величин, являющихся функциями координат контролируемой формы рельефа и его геометрических параметров, остается для всех указанных методов аналогичным.

Выводы

Поскольку интерференционный метод - это лишь способ реализации измерения отклонения формы, то для него остается в силе указанная ранее специфика координатных измерений по сравнению с традиционными линейными измерениями. Она заключается в необходимости задания и поддержания в процессе измерения координатной (референтной) поверхности, по нормали к которой измеряют отклонения формы контролируемой поверхности.

Список литературы

1. Кононогов С.А. Эталонная база прецизионного машиностроения// Метрологія журн. 2009. №3.С.7-23.

2. Исаев А.Б. Обработка результатов измерений линейным интеративно- взвешенным алгоритмом конфлюентного анализа при метрологической аттестации средств измерения// Метрология журн. 1989. №3. С.31-42.

3. Богатыренко К.И. О коррекции инструментальных погрешностей двухкоординатных сканирующих АЦП перемещений// Метрология журн. 1989. №12. С14-18.

4. Гапшис А.А. Координатные измерительные машины и их применение/ А.А. Гапшис, А.Ю. Каспарайтис, М.Б. Модестов.-М.:Машиностроение, 1989-328 с.

5. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология: Учебник для вузов.- М.: Изд-во стандартов, 1991.- 492 с.,ил.

УДК 531.007

С.В. Уваров (УМГ «Донбастрансгаз», Україна),
В.М. Ільченко, к.т.н. (Національний авіаційний університет, Україна)

ДІАГНОСТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

У даній роботі розглянуті особливості реалізації завдання діагностування параметрів вібрації для газотранспортної установки. Оцінка вібраційних характеристик дозволяє визначити загальний технічний стан газотранспортного обладнання. Визначена випадкова похибка взаємних спектрів випадкових стаціонарних сигналів.

Сучасне виробництво висуває все більш зростаючі вимоги до забезпечення дотримання жорстких параметрів технологічних процесів (забезпечення необхідної точності, скорочення тривалості виробничого циклу, компактності виробничих потужностей), що веде до необхідності використання прецизійних вимірювальних систем у виробничих цехових умовах. Особливо критичні до зовнішніх впливів системи контролю механічних величин. Тому останнім часом, зважаючи на посилення вимог, ведуться активні роботи з розробки ефективних засобів їх захисту від зовнішніх збурюючих факторів.

Визначення діагностичних параметрів на інтервалі попередження за результатами моделювання проводиться шляхом порівняння параметрів справного агрегату із прогнозованим, причому цікаві не самі параметри, а ступінь їхнього відхилення від номінальних значень. Для визначення діагностичних параметрів необхідно вирішувати лінеаризовану систему функціональних рівнянь ГПС, у якій по черзі задаються нормовані несправності й розраховуються зміни всіх вимірюваних параметрів потужності, питомої витрати палива, тиску, температури, частоти обертання й т.д.

Системи параметричної діагностики звичайно містять у собі кілька каналів контролю різних процесів, у тому числі вібрації й температури окремих вузлів устаткування. Обсяг використовуваної вібраційної інформації в таких системах обмежений, тобто кожний вібраційний канал контролює два параметри, а саме величину нормованої низькочастотної вібрації й швидкість її наростання. Звичайно вібрація нормується в стандартній смузі частот від 2(10)Гц до 1000(2000)Гц. Величина контрольованої низькочастотної вібрації не завжди визначає реальний стан устаткування, але в передаварійної ситуації, коли з'являються ланцюжки швидко, що розвиваються дефектів, їхній зв'язок істотно виростає. Це дозволяє ефективно використовувати засоби аварійного захисту встаткування по величині низькочастотної вібрації. Такі системи найчастіше використовуються для своєчасного виявлення помилок персоналу, що управляє встаткуванням.

Найбільш істотним і простим методом локалізації джерел вібрації, а також визначення частки вібраційної енергії, переданої від джерела у точку вимірювання, є метод кореляційного аналізу.

Функція взаємної кореляції $R_{ab}(\tau)$ виражає ступінь кореляції (міра статистичного зв'язку) між двома сигналами $a(t)$ и $b(t)$ залежно від їхнього взаємного зсуву (параметра затримки) τ у тимчасовій області. Функція взаємної кореляції короткочасних сигналів має вигляд:

$$R_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} a(\tau) b(t+\tau) dt .$$

Для стаціонарних сигналів необхідна невелика модифікація, що допускає перехід від «енергії» до «потужності».

Функцію взаємної кореляції можна визначити на основі відповідного взаємного спектра шляхом зворотного перетворення Фур'є. З урахуванням перетворення Фур'є й теореми згортки одержуємо

$$F\{R_{ab}(\tau)\} = B(f) \cdot A(-f) = B(f) \cdot A^*(f) = S_{AB}(f),$$

тобто, взаємний спектр є трансформацією Фур'є функції взаємної кореляції. Коефіцієнт кореляції ρ_{xy} випадкових функцій $x(t)$, $y(t)$ являє собою їх нормований коваріаційний момент як математичне сподівання добутку центрованих значень $x(t)$ і $y(t)$:

$$\rho_{xy} = \frac{\overline{|x(t) \cdot y(t)|}}{\sigma_y \sigma_x}.$$

Залежно від значень коефіцієнта кореляції прийняті умовні градації взаємозв'язку двох процесів: $0 < |\rho| < 0{,}2$ – дуже слабка; $0{,}2 < |\rho| < 0{,}4$ – слабка; $0{,}4 < |\rho| < 0{,}7$ – середня; $0{,}7 < |\rho| < 0{,}9$ – сильна; $0{,}9 < |\rho| < 1$ – дуже сильна. Коефіцієнт кореляції визначає загальну частку енергії (потужності, дисперсії) яку вносить один процес в інший, тобто частку дисперсії процесу $x(t)$, обумовлену лінійною залежністю від $y(t)$. Співвідношення

$$\sigma^2_{x|y} = \rho^2_{yx} \cdot \sigma^2_x$$

називається співвідношенням лінійно обумовленої потужності процесу $x(t)$, лінійно пов'язаного з вихідним процесом $y(t)$.

Взаємний спектр визначається на основі миттєвих (комплексних) спектрів $A(f)$ і $B(f)$ (3). Амплітуда взаємного спектра дорівнює добутку амплітуд двох миттєвих спектрів, а його фазовий кут дорівнює різниці властивим цим миттєвим спектрам $(A \longrightarrow B)$ фазових кутів. Взаємний спектр $S_{BA}(B \to A)$ має ідентичну взаємному спектру S_{AB} амплітуду, але протилежну фазу. Використовується однобічний взаємний спектр, що позначається $G_{AB}(f)$ й визначається наступними вираженнями:

$$G_{AB}(f) = 0,\ f < 0;\ G_{AB}(f) = S_{AB},\ f = 0;\ G_{AB}(f) = 2S_{AB}(f),\ f > 0.$$

За аналогічними виразами визначають однобічний власний спектр.

Випадкова похибка взаємних спектрів випадкових стаціонарних сигналів з нормальним (гаусовим) розподілом має вираження [1]:

$$\varepsilon_r[|G_{AB}(f)|] = \frac{1}{\sqrt{\gamma^2(f) n_d}},$$

де $\varepsilon_r[|G_{AB}(f)|]$ – нормована похибка абсолютного значення (модуля) взаємного спектра, $\gamma^2(f)$ – функція когерентності, n_d – еквівалентне число незалежних середніх.

Для визначення кількісної міри тісноти спектрального зв'язку величину модуля взаємного спектра нормують. Отримують функцію когерентності (квадрат функції когерентності) двох процесів

$$\gamma^2_{xy}(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_x(f) \cdot G_x(f)},\ 0 \le \gamma^2_{xy} \le 1,$$

де $G_x(f)$, $G_y(f)$ – відповідні спектральні щільності досліджуваних процесів. Когерентність за аналогією з коефіцієнтом кореляції несе інформацію про ступінь кореляції, тобто про ступінь лінійного взаємозв'язку двох процесів, але тільки в частотній області. Якщо коливальні процеси статистично незалежні, то при всіх значеннях частоти $\gamma^2_{xy} \equiv 0$.

Якщо $\gamma^2_{xy}(f) \equiv 1$, то процеси $x(t)$ і $y(t)$ абсолютно когерентні. Властивому кожному значенню частоти значення функції когерентності можна розглядати як зведене у квадрат значення коефіцієнта кореляції, що відображає ступінь лінійної залежності між двома процесами – з урахуванням того, що оцінки власних спектрів відповідають варіації змінних величин, а оцінка взаємного спектра відповідає коваріації цих величин.

Алгоритм обробки вібраційних сигналів, отриманих із двох акселерометрів, установлених на двох підшипникових опорах одного ротора, передбачає наступні дії:

1. У синхронному режимі із двох акселерометрів в однойменних напрямках отримують два автоспектра $\overline{|G_{1B}(f)|^2}$, $\overline{|G_{2B}(f)|^2}$. Динамічний діапазон установлюється єдиний – за максимальним значенням рівня віброшвидкості найбільшої частотної складової двох автоспектрів.

2. Частотний діапазон установлюється для двох каналів і становить $F_1 = 0...1000$ Гц із роздільною здатністю $\Delta f = 1$ Гц;

3. По двох автоспектрам отримуємо однобічний взаємний спектр

$$\overline{G^*_{1B}(f) \cdot G_{2B}(f)}.$$

Взаємний спектр визначається по двох миттєвих спектрах, але для стаціонарних випадкових сигналів або короткочасних сигналів з накладеним шумом більше значна оцінка взаємного спектра виходить шляхом усереднення по ансамблі певного числа реалізацій цих сигналів у тимчасовій області (автоспектри) [1]. Оцінка взаємних спектрів сигналів на входах і виходах лінійних систем не має систематичної похибки за умови достатнього розділення при аналізі.

4. По взаємному спектрі визначається спектр функції когерентності

$$\gamma^2_{1,2}(f) = \frac{|G_{1,2}(f)|^2}{G_1(f) \cdot G_2(f)}.$$

Динамічний діапазон функції когерентності постійний і становить $0 \geq y \geq 1$.

Частотний діапазон і розділення по частоті зберігаються від досліджуваних спектрів. Всі частотні складові спектра функції когерентності мають значення від 0 до 1. З огляду на те, що аналізу підлягають частотні складові автоспектра, що мають дуже сильний взаємозв'язок $(\gamma^2 \geq 0{,}95)$, проводимо цифрову фільтрацію.

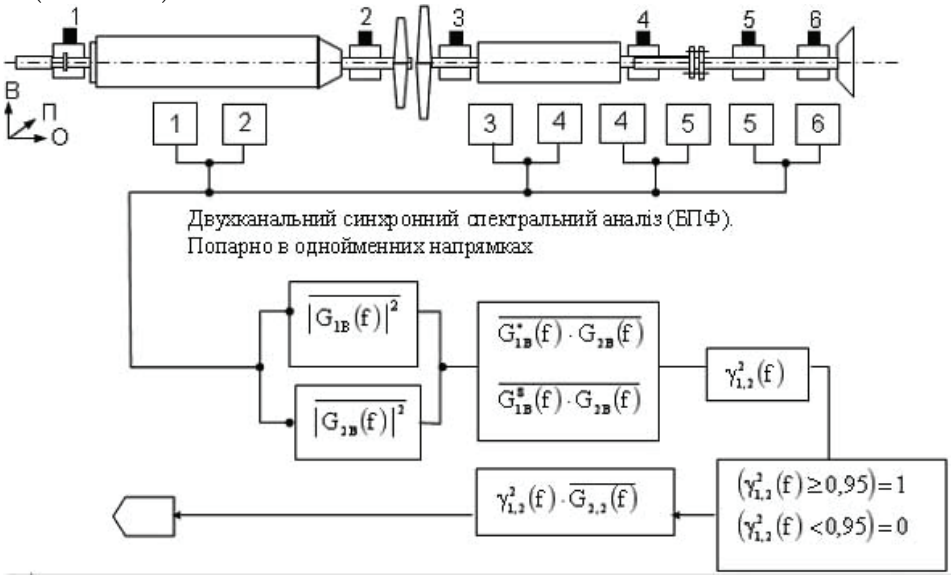


Рис.1. Двоканальний синхронний спектральний аналіз (БПФ) попарно в однойменних напрямках

5. Цифрова фільтрація передбачає тільки два значення частотних складових функції когерентності. Іншими словами, створюється маска для перетворення спектра когерентної вихідної потужності, у якій залишаються частотні складові тільки з високим рівнем функції когерентності, а інші частотні складові відфільтровуються.

6. Береться спектр когерентної вихідної потужності $\gamma^2_{1,2}(f) \cdot \overline{G_{2,2}(f)}$. У даному спектрі (рис.2) присутні спектральні складові, які збуджуються тільки ротором турбокомпресора ГТД НК-12.

У спектрі когерентної вихідної потужності присутні п'ять кратних роторних гармонік, рівні яких убувають за експоненціальним законом. Це характерно для залишкового (у межах

норми) дисбалансу ротора турбокомпресора НК-12. Крім того в спектрі виявилися три вузькосмугові процеси із центральними частотами 208, 457 і 523 Гц. Вузькосмугові процеси не містять у собі резонансних, комбінаційних і модуляційних процесів. Це вібрації, що ставляться до корпусних деталей і мають високий рівень функції когерентності, тому що акселерометри встановлені на корпусі турбокомпресора й корпусні вібрації також мають високу когерентність.

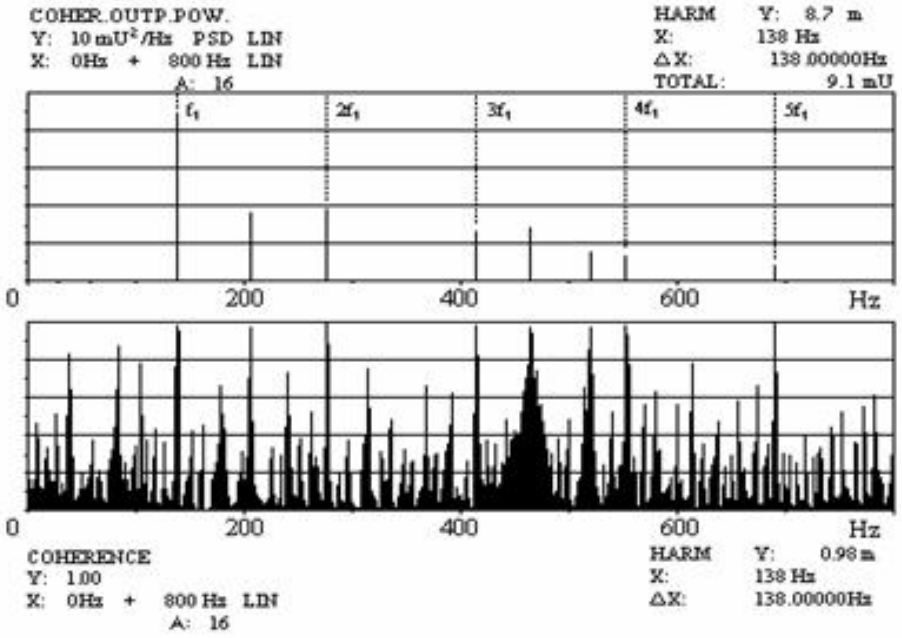


Рис.2. Спектр когерентної вихідної потужності й функції когерентності двигунів

7. Провести аналіз порушуваних вібраційних процесів у роторі турбокомпресора ГТД НК-12 після такої обробки не представляє складності.

Парному аналізу піддаються вібраційні сигнали, отримані з акселерометрів інших вузлів агрегату, послідовно (рис.1.). У системах автоматизованого безперервного контролю з достатнім числом синхронних каналів весь агрегат контролюється одночасно.

Список літератури

1. В.И. Люлько Докторская диссертация. «Разработка теоретических основ и практических рекомендаций с целью эксплуатации авиационных двигателей воздушных судов гражданской авиации по техническому состоянию и совершенствование процессов их диагностирования». М.: ГОСНИИГА, 2004.

2. А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. Санкт-Петербург.: Изд. СПМТУ, 2000. 158 с.

3. С.В. Тварадзе, А.П. Ушаков. Вопросы оперативного выявления дефектов силовых установок транспортных средств. Академия гражданской авиации, Межвузовский тематический сборник научных трудов «Проблемы эксплуатации и совершенствования транспортных систем». Том X, 2005. С.174-181.

4. В.П. Максимов, И.В. Егоров, В.А.Карасев. Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах. М.: Машиностроение, 1987. 206с.

5. М. К. Сидоренко. Виброметрия газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение 1973. 224с.

6. Добрынин С.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Методы автоматизированного исследования вибрации машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с

УДК .622.691.4.052.006

В.П. Квасников, д.т.н.
(Национальный авиационный университет, Украина),
С.А. Сапрыкин, к.т.н.
(Украинский научно-исследовательский институт природных газов, Украина)

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Трансформируясь в газовую промышленность ГТУ и ГТД претерпели существенные изменения. Существующие системы виброконтроля, устанавливаемые на ГПА с газотурбинным и электроприводом часто реагируют на кратковременные всплески вибрации и формируют аварийные сигналы для остановки ГПА в случаях, не представляющих для агрегатов опасности.

Газотурбинные установки (ГТУ) и газотурбинные двигатели (ГТД), используемые в качестве приводов центробежных нагнетателей природного газа, представляют собой основной и постоянно совершенствующийся тип привода нагнетателя природного газа в газотранспортной системе отрасли.

Начиная с 1994 г. в Украине осуществляется программа реконструкции КС с использованием украинских газовых турбин и компрессоров с высоким (32-37%) коэффициентом полезного действия (КПД) производства АО "Мотор Сич" г. Запорожье, НПО "Машпроект" и ПО "заря" г. Николаев и Сумское НПО им. М.В. Фрунзе.

Трансформируясь в газовую промышленность ГТУ и ГТД претерпели существенные изменения. В этих агрегатах воплощены накопленный опыт и современные достижения газотурбостроения в авиационной, судостроительной, транспортной и энергетической промышленности на смену агрегатам первых поколений приходят более совершенные, с высокими технико-экономическими и качественными экологическими показателями, агрегаты блочной конструкции.

Однако недопустимо часто газоперекачивающие агрегаты (ГПА) выводятся в ремонт после аварий с очень большими повреждениями основных узлов.

В большинстве случаев доводка конструкций до требуемой надежности ГПА производится в эксплуатационных условиях, непосредственно на КС.

Существующие системы виброконтроля, устанавливаемые на ГПА с газотурбинным и электроприводом часто реагируют на кратковременные всплески вибрации и формируют аварийные сигналы для остановки ГПА в случаях, не представляющих для агрегатов опасности. Остановленные по причине высокой вибрации, агрегаты в условиях эксплуатации вынужденно подвергают пробным пускам для проведения вибрационного диагностирования, несмотря на их аварийное состояние.

Газотранспортные, добывающие предприятия несут большие потери вследствие неэффективности существующих систем виброконтроля и вибродиагностирования.

Обнаружение на работающей машине дефектного узла является особенно важной проблемой для ГПА большой мощности и габаритов. решение этой проблемы существенно сокращает время на устранение неисправностей в ГПА.

Для основных узлов не установлены вибродиагностические параметры для создания специализированной вибродиагностической и виброконтрольной аппаратуры, недостаточно изучен механизм возникновения вибрации основных узлов, что обусловило актуальность проблемы. Возникла необходимость исследования вибрационных процессов в ГПА, определения причин, из-за которых стандартные подходы не обеспечивают надежного контроля технического состояния основных узлов.

Практически для всех типов ГПА отсутствуют исследования по определению технических характеристик приборов и систем непрерывного контроля вибрации,

обеспечивающих надежное формирование аварийных сигналов при минимальном количестве "ложных" срабатываний защиты от вибрационных перегрузок.

В отличии от регламентированных в большинстве случаях параметров вибрации, используемых для виброконтроля, диагностические параметры являются неизвестными и уникальными для каждого из типов машин и агрегатов. Поэтому, кроме определения пороговых значений виброконтроля следует установить вибрационные параметры, которые необходимо использовать в качестве диагностических признаков для каждого конкретного типа ГПА, разработать технические и программные средства, методы диагностирования.

Важнейшей задачей вибрационной диагностики является поиск и формирование диагностических признаков неисправностей. Поиск диагностических параметров не может быть эффективным без проведения и анализа результатов большого количества экспериментальных исследований. Именно поэтому количество разработок в области вибродиагностики растет.

Анализ литературных источников и патентных исследований, связанных с вибродиагностикой и виброконтролем ГПА в условиях эксплуатации показал, что методы определения их технического состояния не достигли еще уровня надежности, который необходим для эксплуатации, что эта проблема до последнего времени оставалась нерешенной.

Недостаточное внимание уделено поиску диагностических признаков для определения дефектов основных узлов различных типов газоперекачивающего оборудования, а именно:

расцентровке валов; зубчатых зацеплений; соединительных муфт; жесткости подшипниковых узлов; выкрашиванию и разрушению антифрикционного слоя подшипников; износу цилиндропоршневой группы; основных узлов турбокопрессора газомоторного компрессора (ГМК) и др.

Для подтверждения и обоснования диагностических признаков разработаны методики и проведены комплексные экспериментальные исследования в эксплуатационных условиях: с установкой вибропреобразователей непосредственно на подшипниковые опоры внутри ГТН-25, а для ГПА-16 и СТД-400 – в районе подшипниковых опор снаружи с глубоким анализом при проведении ремонта; с последовательной установкой препарированных вкладышей на шейки коленчатого вала ГМК 10ГКН и МК8 с имитацией различных дефектов подшипников скольжения; на одноцилиндровом отсеке ГМК с идеальным техническим состоянием; с установкой заведомых дефектов, которые позволили получить зависимости уровней вибрации от наработки, мощности и технического состояния, установить допустимые уровни вибрации по частотным полосам для формирования предупредительных и аварийных сигналов с выделением диагностических признаков.

В качестве новых дополнительных диагностических признаков впервые предложены: частоты собственных и вынужденных колебаний узлов в зависимости от изменения режима работы; амплитуды поступательных и малых угловых колебаний в выбранном направлении и фазовые сдвиги; измерение в едином масштабе времени вибрационных перемещений всех подшипников ротора; жесткость подшипниковых опор; четко фиксированный на временной оси импульсный сигнал при стабильной частоте вращения для определения разрушения антифрикционного слоя вкладыша подшипника, характерного для роторных машин; вибрационные параметры для определения расцентровок между валами нагнетателя, редуктора и зубчатых муфт; вибрационные сигналы, исходящие от двух подшипников, расположенных на одной шатунной шейке коленчатого вала; величины углов между плоскостью движения шатуна и векторами максимальной амплитуды вибрации; выделение уровней вибрации в полосе частот, связанных с процессом горения, которые применены при разработке технологий, аппаратных и программных средств виброконтроля и вибродиагностирования ГПА.

Выводы

Создание новых методов и средств технического обслуживания ГПА с использованием современных средств вибрационной диагностики позволит с высокой точностью и надежностью без остановки и разборки оценивать техническое состояние основных узлов и агрегатов в целом, сократить эксплуатационные затраты, прогнозировать остаточный ресурс [1-15].

Литература

1. Дослідження коливань конструктивних елементів газоперекачувальних агрегатів / Соляник В. Г., Груздь В.Я., Шлапак Л.С., Саприкін С.О., Бойко М.В. //Нафтова і газова промисловість.-1999.-№4.-С.38-39.

2. Пат.16384 Україна, МКІ G01M 7/00. Спосіб вібраційного контролю машин/ Бойко М.В., Поліщук О.Ф., Саприкін С.О., Божко О.Е. (Україна) – А11727013: Заявлено 15.06.87; опубл. 20.08.97. Бюл.№4 – 3с.

3. Пат. России заявка 4262817/28 заявлен 15.06.1987, опубл. 15.04.92. Бюл.14.-3 с.

4. Пат.19897 Україна, МКІ G01M 7/00. Пристрій для вимірювання параметрів вібрації машин/ Бойко М.В., Саприкін С.О., Божко О.Е., Поліщук О.Ф., (Україна) – 4116722/SU; заявлено 12.09.86; опубл. 25.12.97. Бюл.№6 – 4с.

5. Пат.16558 Україна, МКІ G01M 13/02. Спосіб вібродіагностування дефектів в кінематичних ланцюгах машин/ Бойко М.В., Саприкін С.О. (Україна) – 4601320/SU; заявлено 03.10.88; опубл. 29.08.97. Бюл.№4 – 3с.

6. Пат.54696 Україна, МКІ G01H 1/08. Пристрій для контролю вібрацій об'єктів / Бойко М.В., Козак Р. В., Саприкін С.О., Гарагуль А.А. (Україна) – 2002010109: заявлено 03.01.2002; опубл. 17.03.2003. Бюл.№3 – 2с.

7. Деклараційний Пат. Україна, МКІ G01M 15/00. Спосіб діагностування газотурбінної установки/ С.О. Саприкін , І.В. Сухоруков, М.А. Зарубін (Україна) – №20040605148; заявлено 29.06.2004; опубл. 15.06.2005. Бюл.№6-3с.

8. Пат. 16557 Україна, МКІ G01M 13/04. Спосіб визначення жорсткості підшипникових опор/ Бойко М.В., Саприкін С.О., Поліщук О.Ф., Нефедов А.А. (Україна) – А1 1296890, 3920542/SU; заявлено 01.07.85; опубл. 29.08.97. Бюл.№4 – 3с.

9. Пат.26494 Україна, МКІ G01M 13/04. Спосіб контролю технічного стану підшипників колінчатого валу/ Саприкін С.О., Поліщук О.Ф., Бойко М.В., Таргонський В. О.(Україна) – 93007711; заявлено 05.11.1993; опубл. 11.10.1999. Бюл.№6 – 6с.

10. Оценка технического состояния шатунных подшипников ГМК МК 8 / Игуменцев Е.А., Сапрыкин С.А., Полищук О.Ф., Сапрыкин А.С. // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць; Донецьк: Дон-НТУ, 2006.-Вип.31.-С. 146-152.

11. Пат.1741007А1. Россия, МКИ G01M 15/00. Способ диагностирования цилиндропоршневой группы газомотокомпрессора/ Бойко М.В., Делюсго С.Л., Козак В.Р., Сапрыкин С.А. (Україна) – 4863563/06; заявлено 12.06.1990; опубл. 15.06.1992. Бюл.№22 – С.3.

12. Пат.32585 Україна, МКІ F02M 65/00. Спосіб діагностування газовпускних клапанів силових циліндрів/ Бойко М.В., Саприкін С.О., Козак Р. В., Гарагуль А.А. (Україна) – 96010370: заявлено 30.01.1996; опубл. 15.02.2001. Бюл.№1 – 2с.

13. Сапрыкин С.А. Методы и технические средства вибрационной диагностики газоперекачивающего оборудования / С.А. Сапрыкин - Х: Прапор, 2009.-368 с.

14. Саприкін С.О. Прилади та методи віброконтролю і вібродіагностування газоперекачувальних агрегатів та компресорних установок газотранспортної системи України / Саприкін С.О. //Техническая диагностика и неразрушающий контроль.-2006.№2.-С.33-38.

15. Саприкін С.О. Оптимальне планування ремонтів газоперекачувального обладнання за комплексними результатами вібраційного та параметричного діагностування / Саприкін С.О., Сімкіна Р.А. // Нафтова і газова промисловість.- 2006.-№3.-С.44-49.

УДК 531.002

С.А. Дорошенко (ОАО „Сумское машиностроительное научно-производственное объединение им. М.В. Фрунзе"),
Ю.М. Чорненький (Национальный авиационный университет, Украина)

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Предложены правила определения способа построения программного компонента, которые основаны на согласовании классификаций задач проектирования и типов программных компонентов.

Одной из главных причин недостаточно высокой эффективности отечественной промышленности являются устаревшие организационные структуры в сфере проектирования и технологической подготовки многономенклатурного производства.

Вопросам разработки моделей и методов построения информационных систем предприятий машиностроения (дискретное производство) сегодня уделяется большое внимание. Но вместе с тем все эти разработки ориентированы в большей степени на специфику организации работы предприятий массового и серийного производства, и не учитывают особенности единичного многономенклатурного производства, которое предусматривает разработку ряда крупных индивидуальных проектов и производство в них небольших партий, а порой единичных (разовых) изделий, на заказ.

Система автоматизированной подготовки многономенклатурного производства (АПМНП) включает большое число составных разнородных элементов и имеет сложное управление. Ее компоненты имеют разный уровень формализации, а пользователи — это специалисты в различных областях знания, при решении задач используются разные (порой противоречивые) критерии, система может допускать ошибки, ей необходимо адаптироваться к внешним условиям и развиваться во времени.

Когда решаются локальные задачи технологического проектирования или когда они решаются только в диалоговом режиме, разработчик практически не задумывается о технологии проектирования алгоритмов и программных компонентов. Но переход к созданию интегрированной системы сразу „вскрывает" проблемы проектирования, вызванные отсутствием такой технологии.

В работах [2, 3] формирование состава и структуры программного обеспечения АПМНП определено как совокупность программных, информационных, лингвистических и технических слоев. Программные слои обеспечивают связь пользователя с абсолютными ресурсами. В работах [2, 3] предложена организация связи АПМНП с системами управления базами данных через специальный слой, который был назван интерфейсным. Связь пользователя и программных компонентов обеспечивается специальными языковыми средствами (лингвистическими слоями).

Применение слоевого подхода позволяет решить задачу независимости программного приложения от способа хранения данных и используемых СУБД, создает предпосылки для эффективного использования инвариантных программных средств и повышает адаптивные свойства системы.

В работе [4] определена структура и два варианта организации пакета программ: простой для локальных систем и сложный — для комплексных и интегрированных. Состав задач АПМНП и последовательность их решения определяются динамически во время выполнения работ. Для этого управляющая программа пакета реализует программную грамматику, где словарь (терминальные символы) — это имена компонентов ПО; классы (нетерминальные символы) — это имена функций АПМНП; аксиома — это имя составной части управляющей программы „монитор", классы „система" и „аварийное завершение";

правила подстановки — это возможные структурные варианты терминальных и нетерминальных символов, которые разбиты по классам.

В процессе проектирования АПМНП некоторые компоненты ПО или пользователь в режиме диалога задают правила подстановки. «Монитор» реализует предложение, состоящее из терминальных и нетерминальных символов. Передача управляющих данных выполняется через коммуникационную область памяти, проблемных — через общую область.

В работе [2] выбор способа построения программного компонента, решающего конкретную задачу АПМНП. Предложены правила определения способа построения программного компонента, которые основаны на согласовании классификаций задач проектирования и типов программных компонентов. Задачи разделяются на четыре группы:

— инвариантные по отношению к производственным условиям, где эти задачи решаются, поэтому программные компоненты строятся как неизменяемые (оригинальные);

— с неизменяемым составом параметров, по которым принимаются решения, и схемой решения, но с изменяемыми пороговыми значениями параметров. В этом случае строятся оригинальные программные компоненты, для которых пороговые значения параметров выбираются из базы данных или передаются через формальные параметры;

— с изменяемой схемой решения, но с возможностью многократного использования;

— с изменяемой схемой решения, но с возможностью одноразового использования.

Формирование схемы решения задачи АПМНП на основе принципа неокончательных решений. В этом случае схема решения задачи представляется в виде последовательности алгоритмов, где каждый алгоритм решает только часть задачи и определяет допустимое множество решений. Модель решения задачи в общем случае представляется в виде

$$\left.\begin{aligned} & L \quad K \quad \left(\bigcap_i \quad K_i \quad \Gamma_i \quad \mathrm{O}_j \right) \quad = \quad r_j , \\ & \Gamma_i \quad = \quad \Gamma_{\lambda i} \quad \ldots \quad \Gamma_{2i} \quad \Gamma_{1i}, \\ & \bigcap_i \quad K_i \quad \Gamma_i \quad \mathrm{O}_j \quad = \quad R_j , \qquad r_j \quad \in \quad R_j , \end{aligned} \right\}$$

где L — диалоговый оператор уточнения или корректировки решений; K — глобальный критерий оценки решений; K_i — частный критерий оценки решений *i-й* задачи; Γ_i — алгоритм решения *i-й* задачи; O_j —*j*-й объект, относительно которого принимается решение; r_j —*j*-е решение; R_j — множество допустимых решений. Наличие членов $\cap_i K_i \ \Gamma_i \ O_j$ и $\Gamma_i = \Gamma_{\lambda i} \ \ldots \ \Gamma_{2i} \ \Gamma_{1i}$ говорит о том, что процесс принятия решений может быть соответственно параллельным и последовательным. Алгоритмы $\Gamma_{\lambda i}$ могут быть реализованы путем синтеза, выбора и поиска решений, порождения новых множеств, вычисления и т.д., которые являются инвариантными по отношению к конкретным алгоритмам.

Унификация представления алгоритмического и программного модулей АПМНП в общем случае включает блоки, представленные на рис. 1, *а*.

Назначение блоков понятно из их названия, исключение составляет блок *6.* Он описывает действия, направленные на изменение условий проектирования, к которым автор относит те свойства информационных объектов, которые изменяются после применения выбранного решения. Например, во время проектирования технологических процессов после применения выбранного инструментального перехода изменяется состояние заготовки.

Программный модуль (ПМ) имеет сходную с АМ структуру (см. рис. 1, б), за исключением первого (0) и последнего (7) блоков, которые необходимы для ввода—вывода данных. При формировании пространства признаков могут рассчитываться сложные признаки с использованием специальных функций. Функции оценки решений, формирования результатов проектирования и условий проектирования формализуются и типизируются. Каждый блок ПМ является функционально автономным. Все связи (информационные и управляющие) между различными ПМ и их блоками организуются

стандартным способом и могут реализовываться с помощью инвариантных программных компонентов.

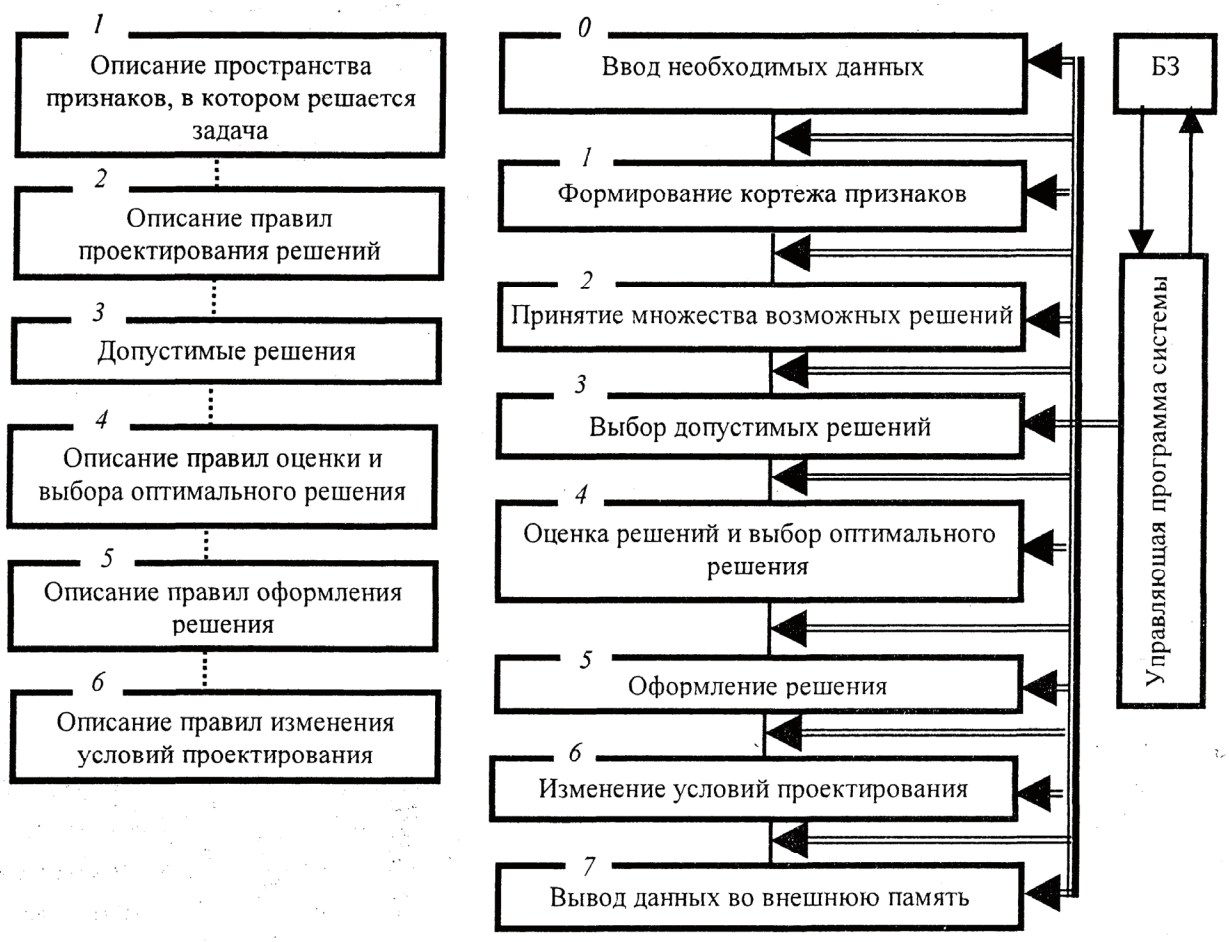


Рис. 1. Правила определения способа построения программного компонента

Организация информационного взаимодействия программных комплексов и компонентов АПМНП, в которой можно выделить четыре уровня представления данных (рис. 2): 0 — уровень пользователя, 1 — общий уровень системы, 2 — уровень комплексов, 3 — уровень компонентов (Г— трансляторы, W — программы вывода данных, E1 и E2 — редакторы, A — программы формирования пространства признаков, F — программы формирования результата).

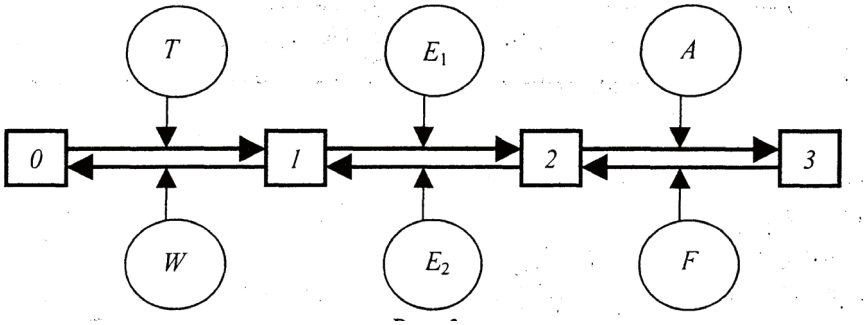


Рис. 2. Уровни представления данных

Для каждого комплекса в общем случае формируется оригинальное представление заданных, а также входных и выходных данных.

Языки *J* и *G* называются предметными языками описания полной модели объекта или процесса, а языки { J_n } и {G_n} — предметными языками описания частных моделей объекта или процесса. Для перехода от языка *J* языкам J_n и от языков G_n к языку *G* описания данных необходимы редакторы (на рис. 2 — это E_1 и E_2). В этом случае модель описания объекта или процесса на языках J_n или G_n называется производной. Языки J_n и G_n должны иметь единый синтаксис, так как по мере развития системы будут добавляться новые языки, что требует открытости языков *J* и *G*.

Каждый компонент также может иметь оригинальное представление данных. Для перехода к 3-му уровню служат программы формирования пространства признаков задачи *A,* а для перехода от 3-го уровня — программы формирования результата *F*. Технология проектирования алгоритмов и программ должна обеспечивать явное выделение пространства признаков решения задачи и правил формирования массивов результатов. Это согласуется с предложенным способом представления АМ и ПМ (см. рис. 1), где блок *1* АМ реализуется программами группы *A,* а блок *5* АМ — программами группы F.

Алгоритмы решения задач АПМНП разделяются на части по правилу: „каждая часть алгоритма должна являться функцией признаков, относящихся к объектам одного класса".

Организация инвариантных программных комплексов для решения задач АПМНП с оригинальными схемами решения и многоразовым использованием. Данные комплексы имеют три уровня: пакеты настройки, обработки и системы управления базами данных и знаний. Пакет обработки выполняет одну из задач ТПП и включает в свой состав лингвистические средства, ориентированные на технолога, и инвариантные программные средства, которые настраиваются на решение конкретной задачи по правилам из базы знаний. Пакет настройки предназначен для настройки пакета обработки на выполнение конкретной функции в конкретных производственных условиях. В состав пакета входят средства, ориентированные на разработчика и обеспечивающие накопление баз данных и знаний. Связь между пакетами настройки и обработки осуществляется только через базы данных и знаний.

Выводы

Соблюдение описанных положений, которые определяют технологию проектирования алгоритмического и программного обеспечения, позволяет генерировать АПМНП для конкретного предприятия и осуществлять дальнейшее ее развитие.

Список литературы

1. *Думлер Е.Б.* Модели в проектировании технологического оборудования / Е.Б. Думлер // Информационные технологии в технических системах: Сб. трудов ИКТИ РАН. –М.: ИКТИ РАН, 2004. - Вып.4. – С. 51 - 56.

2. *Думлер Е.Б.*. Кластерный анализ технологических объектов многономенклотурного производстыва / Е.Б. Думлер // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2006 - №1. - С. 52-55.

3. *Прилуцький М.Х.* Потокові алгоритми розподілу ресурсів в ієрархічних системах / М.Х. Прилуцький, А.Г. Картомін // Електронний журнал Досліджено в России, .- 2003.- №39.- С.444-452. Режим доступа к журналу http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/039.pdf

4. *Agmon S.* The relaxation method for linear inequalities. / S. Agmon // Canadian journal of mathematics .- 1954.- vol. VI.- № 3 .- P. 382-392.

УДК .622.691

Д.А. Тюпа (ГП Харьковский машиностроительный завод «ФЭД», Украина)
А.И. Осмоловский, к.т.н. (Национальный авиационный университет, Украина)

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АВИАЦИОННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Проведен анализ методов диагностирования гидроприводов для стационарных и динамических режимов работы. и рассмотрены методы неразрушающего контроля гидроагрегатов.

Развитие авиационной и ракетно-космической техники в нашей стране и за рубежом явилось мощным стимулом в проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области гидравлической автоматики и объемных гидравлических приводов. К исполнительным механизмам и гидравлическим агрегатам предъявляются весьма жесткие требования по минимализации массы и геометрических размеров при одновременном их форсировании по рабочему давлению и по частоте вращения вала. Это обуславливает необходимость пересмотра и переоценки существующих теоретических положений и практических рекомендаций[1-4].

Исследования в данном направлении невозможны без использования системного подхода, учета различных мероприятий и решения задач, которые могут привести к улучшению состояния систем, гарантировать приемлемую надежность и продление их срока эксплуатации[3-8].

При изготовлении и проведении мониторинга технического состояния (ТС) гидроагрегатов одной из наиболее актуальных является задача объективного и своевременного обнаружения дефектов различной природы и организация контроля за развитием дефектов из-за износа элементов[5,7,9-10].

К задачам, которые решаются в процессе технического диагностирования гидроагрегатов относятся следующие:

- нахождение причин отказов агрегатов и их узлов;
- определение фактического технического состояния в данный момент времени;
- выявление необходимости регулировки или замены узлов;
- прогнозирование с определенной достоверностью изменения фактического технического состояния для любого момента времени.

Выбор метода НК должен быть основан, помимо априорного знания о характере дефекта, на таких факторах, как:

- условия работы изделия;
- форма и размеры изделия;
- физические свойства материала деталей изделия;
- условия контроля и наличие подходов к проверяемому объекту;
- технические условия на изделия, содержащие количественные критерии недопустимости дефектов и зачастую нормирующие применение методов контроля на конкретном изделии;
- чувствительность методов.

Задача формирования комплекса различных методов НК для обнаружения совокупности возможных дефектов в гидроагрегатах может быть сформулирована как оптимизационная многоуровневая, многокритериальная задача дискретного программирования [10].

Для эффективного решения задач прогнозирования ТС гидроагрегатов, повышения их долговечности актуальными являются:

- совершенствование приборного контроля, повышение точности, применение передовых методов контроля технического состояния и методов НК;

– автоматизация сбора обработки и хранения эксплуатационной информации на базе универсальных измерительных аппаратно-программных комплексов, разработка и ведение базы данных мониторинга ТС, формирование перечня критичных с точки зрения надежности элементов;
– детальная проработка перечня контролируемых параметров, мест, методов и технологий измерений, приборов для контроля и их класс точности, периодичность контроля

Виды технического состояния гидроагрегатов приведены на рисунке 1.

Для определения вида ТС необходимо:
– определить ТС гидропривода и его элементов путем диагностирования;
– знать требования определяющие исправность, работоспособность и правильное функционирование агрегата, которые задаются в НТД указанием номенклатуры и допустимых значений количественных и качественных показателей

Рис. 1. Виды технического состояния гидроагрегатов

Количество информации о ТС гидроагрегата получают как разность неопределенностей до и после получения информации. Степень неопределенности характеризуется энтропией. Внесенное количество информации определяется по формуле:

$$J = H(D) - H^*(D),$$

где $H(D)$ – начальная энтропия; $H^*(D)$ – параметры после получения информации.

Энтропия отдельного состояния гидроагрегата определяется по формуле:

$$H(D_i) = \log_2\left(\frac{1}{P(D_i)}\right),$$

где $P(D_i)$ - априорная вероятность состояния D_i.

Энтропия всех состояний гидроагрегата представляет собой среднее значение энтропий отдельных состояний:

$$H(D) = \sum P(D_i)H(D_i) = \sum P(D_i)\log_2\frac{1}{P(D_i)} = -\sum P(D_i)\log_2 P(D_i).$$

Если все априорные вероятности состояния равны, энтропия имеет максимальное значение и соответствует наибольшей неопределенности. Если же вероятность какого-то состояния $P(D_i)=1$, а вероятность всех остальных состояний равна нулю, то система не имеет неопределенности и $H(D)=0$. Следует отметить, что энтропия не полностью характеризует неопределенность, так как она учитывает только вероятности состояний и их число, но не учитывает относительную важность этих состояний.

При диагностировании гидроагрегатов информацию об их ТС (система диагнозов D) получают с помощью наблюдения за другой, связанной с ней системой сигналов К, то есть

информацию о состоянии системы D получают наблюдением за системой К. Среднюю величину этой информации определяют из равенства:

$$J_D(K) = H(D) - H\left(\frac{D}{K}\right),$$

где $H\left(\frac{D}{K}\right)$ - энтропия D после измерения параметров К.

Рассмотрим пример использования метода переходных характеристик для оценки технического состояния гидропривода.

Как отмечалось выше, получить эталонную характеристику можно экспериментальным или расчетным путем. Для получения расчетных характеристик составляется математическая модель привода, описывающая динамические процессы в нем. Следует отметить, что процессы, протекающие в гидроприводах, достаточно трудно поддаются математическому описанию. Это связано с тем, что гидравлические приводы представляют собой нелинейные системы, нелинейность которых обусловлена нелинейностью внешней нагрузки, упругостью гидравлического звена, нелинейными потерями давления в магистралях, силами трения, зазорами и т.п. Поэтому переходные процессы в них описываются системой линейных и нелинейных дифференциальных уравнений.

В общем случае система уравнений, описывающая динамику гидропривода, включает в себя три типа уравнений, которые соответствуют физическим процессам в этих приводах: уравнения течения рабочей жидкости в элементах гидропривода; уравнения расходов; дифференциальные уравнения движения перемещающихся деталей системы (уравнения сил и моментов).

Последняя группа уравнений отражает равновесие движущегося элемента под действием приложенных сил и моментов. Например, для гидродвигателя с поступательным движением:

$$m \times \frac{d^2 z}{dt^2} = \sum P_a - \sum P_c ,$$

где m - приведенная к подвижному элементу масса; z - перемещение поступательно движущегося элемента; $\sum P_a$ и $\sum P_c$ - сумма активных сил и сил сопротивления.

Уравнение расходов жидкости представляет собой алгебраическую сумму входящих и выходящих из узла расходов. Например, для модели с учетом сжимаемости жидкости уравнение баланса расходов жидкости для i-го узла представляет собой алгебраическую сумму входного Q_i и выходного $Q_{i=1}$ расходов и расхода Q_{id} затраченного на деформацию сосредоточенного в узле объема жидкости, т.е.

$$Q_i - Q_{i=1} - Q_{id} = 0 \text{, причем } Q_{id} = V_i \Psi(p_i) \frac{dp_i}{dt} ,$$

где - V_i - объем сосредоточенной в узле жидкости; $\Psi(p_i)$ - коэффициент податливости.

Уравнение течения рабочей жидкости в трубопроводах составляются на основе баланса давлений на участке гидроцепи:

$$P_{вх} = P_{вых} + P_l + P_m + P_j ,$$

где $P_{вх}$ и $P_{вых}$ - давление на входе и выходе участка гидропривода; P_m - местные потери давления; P_l - потери по длине магистрали; P_j - инерционные потери давления.

Исходными данными для динамического расчета являются параметры проектируемого привода: свойства рабочей жидкости, рабочее давление, конструктивные размеры трубопроводов и гидромоторов, коэффициенты местного сопротивления для участков привода, размеры емкостей, вид и величина преодолеваемой нагрузки. В результате расчета получаются представленные на рисунке 2 переходные характеристики, которые могут быть приняты в качестве эталонных зависимостей при диагностировании гидропривода по

характеру протекания переходного процесса, времени нарастания давления, характеру перемещения исполнительного органа и т.д.

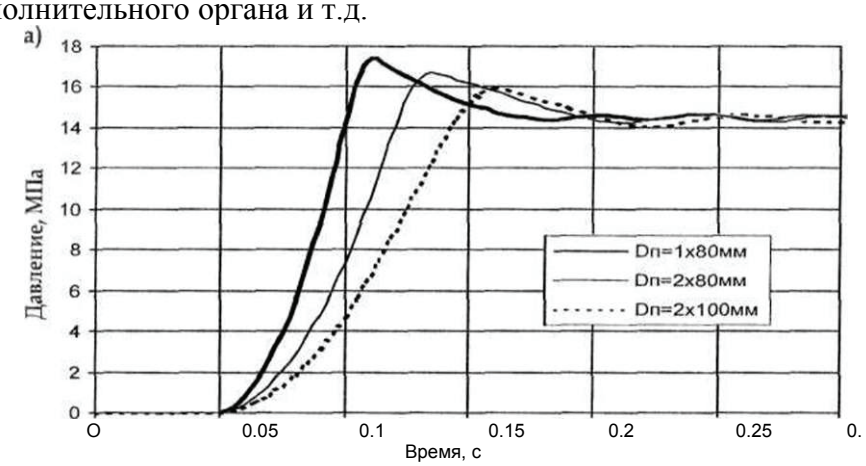


Рис. 2. Результаты динамического расчета изменение давления на выходе напорного трубопровода в зависимости от конструкции исполнительного гидроцилиндра

Метод эталонных осциллограмм представляет собой частный случай метода эталонных зависимостей, с помощью которого исследуют зависимость диагностического параметра от времени. Он является одним из наиболее простых и эффективных методов диагностирования и широко применяется для выявления дефектов и отказов гидроприводов, для которых характерны низкочастотные динамические процессы.

Выводы

Проведенный анализ методов диагностирования гидроприводов показывает, что ряд из них применяется при стационарных режимах работы привода. К особенностям различных методов можно отнести возможность использования встраиваемых или накладных датчиков, а также способ создания нагрузки - дросселем (на входе или па выходе) или нагружением силового цилиндра (внешним нагружающим устройством или самонагружением).

Эффективность применения методов НК зависит от схем организации контроля, его планирования, использования современных информационных технологий и вычислительной техники, персонала.

Список литературы

1. *Лопаткин В. И.* Методы неразрушающего контроля за рубежом// Проблемы безопасности полетов -1986 .№6. 58-65 с.

2. *Клюев В. В.* Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. -М. : Машиностроение.- 1986.-488с

3. Техническая диагностика гидравлических приводов/ Под общ. ред. Т.М. Башты.- М.: Машиностроение. 1989.- 264 с.

4. *Гинзбург В. М.* Голография методы и аппаратура.- М.:Сов.Радио, 1974,-376 с.

5. *Строук Д.* Введение в когерентную оптику и голографию. Пер. с англ.-М.: Мир,1967,-320 с.

6. *Комар В.Г., Серов О.Б.* Изобразительная голография и голографический кинематограф.- М. Искусство, 1987,-286 с.

7. *Денисюк Ю.Н.* Принципы голографии.- Л. Наука, 1979,-125 с.

8. *Островский Ю. И.* Голографическая интерференция.- М.: Наука,1977,-376 с.

9. *Кок У.* Лазеры в голографии. – М.: Мир, 1971,-287 с.

10. *Богдан Н.В., Жилевич М.И., Красневский Л.Г.* Техническая диагностика гидросистем.- Мн: Белавтотракторостроение, 2000,- 119с

Р.К. Мирзаев, доц., к.т.н.
(Самарский государственный аэрокосмический университет, Россия).

БОРТОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ И ИХ СТРУКТУРА

Рассмотрены результаты исследования проблемы безопасности полетов, бортовые измерительные системы полетной информации (БИИС), бортовые информационно-управляющие системы и эргатические системы, вместе составляющие бортовые измерительные комплексы безопасности полетов, методы обработки на основе статистического контроля (оценки) параметров полета, измеренными различными бортовыми датчиками.

В настоящее время системы управления безопасностью полетов (СУБП) в военной и гражданской авиации на основе Стандартов и Рекомендуемой практики (SARPS)

Международной организации гражданской авиации (ICAO) активно внедряются ведущими авиационными державами как эффективный инструмент снижения аварийности. Понятие СУБП введено в 2006г. ИКАО , СУБП должен разрабатываться Государством (касается всех участников Чикагской Конвенции)(в России еще не разработана) и должен внедряться с 2009 г. Эксплуатантом. [1].

Как показывает анализ мировой статистики летных происшествий (ЛП), более 80% всех причин ЛП обусловлено человеческим фактором (ЧФ), а именно ошибками летных экипажей и лиц групп руководства полетами (ГРП) из служб управления воздушным движением (УВД). При этом меньшая доля ЛП вызвана ошибочной оценкой ситуации, неверными прогнозами и расчетами. Основная же часть ЛП связана с ошибками летчиков в технике пилотирования и отсутствием надлежащей и своевременной реакции на усложнение условий полета(см.Таблицу1).

За 10 лет общие потери всей государственной авиации Российской Федерации составили 301 воздушное судно, при этом погибли 773 человека. Относительный показатель (число авиационных происшествий на 100 тыс. часов налета), характеризующий уровень аварийности, в течение 30 лет находится на уровне 4 - 5 авиационных происшествий на 100 тыс. часов налета, в то время как в ведущих авиационных державах данный показатель в 2 и более раз ниже

В настоящее время ежегодный материальный ущерб, наносимый Российской Федерации авиационными происшествиями в государственной авиации, составляет более 2 млрд. рублей, а к 2015 году при сохранении существующей системы обеспечения безопасности полетов может достичь 30 млрд. рублей в год[2]..

Таблица1

	Отказы авиационной техники	Человеческий фактор	Неблагоприятные внешние условия
Аварии	41%	48%	11%
Катастрофы	6%	84%	10%

Такому положение дел привело:

- несовершенство законодательных актов и нормативные положения по ОБП;
- принятие управленческих решений в условиях отсутствия полной и достоверной информации о состоянии элементов авиационной системы и особенностях их взаимодействия в процессе организации, подготовки и выполнения полетов;
- конфликт интересов при проявлении опасных факторов;

- несоответствие выделяемых ресурсов (материально-технических, финансовых, административных, организационных, кадровых, информационных) масштабности и сложности задач обеспечения безопасности полетов;
- объективное снижение научно-производственного потенциала авиационной промышленности России;
- взгляды не отвечают требованиям времени на вопросы безопасности полетов

В современных условиях целенаправленная деятельность по выявлению, оценке и устранению опасных факторов или уклонению от них с целью предотвращения авиационных происшествий в государственной авиации может быть эффективна только в рамках единой системы управления безопасностью полетов.

Государственная Программа по ОБП (разработана в 2008г.) и Концепция ОБП (разработана по поручению Президента и Правительства Российской Федерации от 22 апреля 2009 г. N 554-р) учитывает выше указанные проблемы и ставить в срочном порядке эти проблемы решать с 2010 -2015 г , где в нем с целью повышения БП представлены целый ряд проблем, касающиеся разработке и внедрения интегрированных бортовых интеллектуальных информационно- измерительных и управляющих систем - системы постоянного многоуровневого мониторинга безопасности полетов.

XXI век может стать переходом к искусственному интеллекту в управлении. Однако существующие интегрированные комплексы и системы бортового цифрового оборудования нельзя считать комплексами, построенными на основе искусственного интеллекта, так как средства информационной поддержки принятия решения человеком (СИППР) отсутствуют. Анализ подобных систем показывает, что в настоящее время пока не созданы бортовые информационно-управляющие системы (БИ-УС) с системой СИППР, построенные на базе ИИ. Лишь в отдельных публикациях можно встретить упоминание о подобных системах

Технология построения архитектуры систем и блоков - объединение приборного(АО), радиотехнического(РЭО) и пилотажно-навигационного оборудования (ПНО) в единое целое с цифровым двоичным исполнением по «открытой архитектуре», , информационно связанных радиальными линиями связи (ARINC 429 и т.д.), с кратностью резервирования, определяемой категорией критичности системы и выполняемой ею функции, позволило выпускать промышленностью различных поколений АВИОНИКИ- интегрированных комплексов бортового оборудования (КСЦПНО-204/96(I), ИКБО-95 (II), ИКБО – 2005 (III), ИКБО – 2010 (IУ)) [3, 4].

Однако, поколений АВИОНИКИ не решает задачу ОБП.

В настоящее время средства ОБП по выполняемым функциям подразделяется на :

-информационно-измерительную систему, позволяющая обнаруживать опасные ситуации и формирует информационные сигналы только экипажу по каналам индикации и сигнализации – системы сигнализации (противообледенительная система, противопожарная система), системы предупреждения столкновения с землей, в воздухе и т.д.;

- информационно-управляющие системы, кроме задач обнаружения опасных ситуации в критические моменты и предупреждения об этом экипажу, выполняет функции управления как путем формирования команд по изменению штурвального управления, так и через каналы автоматического увода ЛА из критического режима полета путем управления механизмом отдачи штурвала, путем выдачи сигналов в автомат тяги, САУ, систему обеспечения устойчивости и управляемости (сигнализатор угла атаки СУА, автомат угла атаки и сигнализации перегрузок, система SWS фирмы CCIC (США), системы фирмы General Dinamik(США) установленных на самолетах F-16, BOING-767) и т.д.)[2].

- эргатическую систему (ЭС) (человеко-машинную систему), позволяющая с широким диапазонов возможностей урегулировать и избежать опасностей в результате принятия решений (человеком – оператором, экспертной системой).

Системная безопасность функционирования ЭС «ВС- экипаж- среда» обеспечивается выявлением всех факторов конфликтности, риска и опасности , которые препятствуют нормальному функционированию этой системы.

В основу ЭС составляет системный анализ, задачей которого являются:

1) анализ информационных потоков в структуре ЭС;

2) выявление источников неопределенности , в частности информационных , в процессе функционирования системы;

3) выявление источников риска и выбор методов его количественной оценки;

4) разработка основных принципов системной диагностики и формирование информационного пространства свойств ЭС. [4].

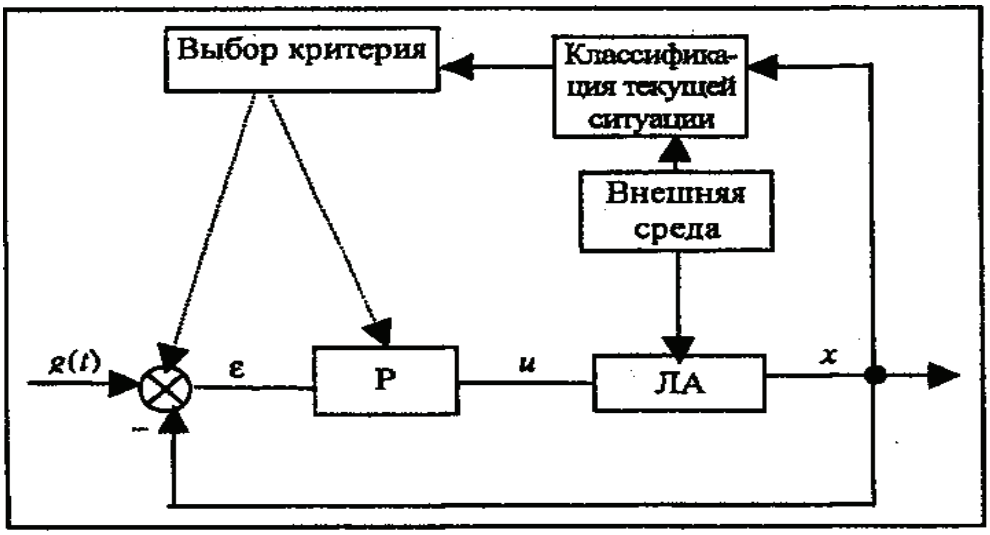


Рис. 1. Структура системы интеллектуального управления полетом

Недостатки существующих средств обеспечения безопасности полета

- Запоздалое срабатывание систем ограничительных сигналов (СОС) и ограничителей предельных режимов (ОПР) при потере скорости на крутых траекториях.
- Отсутствие прогноза динамики движения.
- Отсутствие четких рекомендаций по принятию решения для вывода из сложных ситуаций.

В настоящее время не только для расследования авиационных происшествий (АП), но и для предполетного и после полетного контроля состояния ЛА применяются бортовые измерительные системы (БИИС) - системы типа САРПП(САРПП -12 ГМ, ДМ и т.д.), МСРП(МСРП-12-96, МСРП-64 и т.д.), БУР (БУР1-3,БУР-4-1и т.д.), Тестер-У3 (сер.2, сер.3, сер. Л),), К3-62, МС-61, П-503 , позволяющие измерять и регистрировать большое количество аналоговые, цифровые и бинарные сигналы соответствующих параметров, характеризующих пространственное положение воздушных судов, действия экипажа и работу авиатехники, а также речевые сигналы – переговоры экипажей[3,5].

Эти средства позволяют автоматически получить информацию непосредственно от объекта, измерять, преобразовать ее, передать, накопить и сохранить необходимую информацию об условиях полета, параметрах движения и состояния ЛА, техническом состоянии его силовых установок и оборудования, действиях экипажа по управлению ЛА. Бортовые устройства регистрации только регистрируют необходимые параметры, но не позволяют осуществить анализ их на борту ЛА.

Анализ параметров осуществляется после полета в процессе проведения экспресс - оперативной обработки.

Своевременный и полный анализ полетной информации бортовых ИИС (FDR) существенно способствует **повышению безопасности полетов** благодаря использования этой информации в целях:

- оценки режимов полета и правил летной эксплуатации ЛА;

- оценки работоспособности авиационной техники;

- оценки и определение причин авиационных происшествий и инцидентов.

Закючение

В результате внедрения информационной технологии в ЛА нового поколения встал вопрос **интеграции** т.е. объедение БУР и наземной обработки , тем самым создания бортовых информационно-измерительных систем специального назначения (кроме АВИОНИКА) - бортовую автоматизированную систему контроля состояния БП . Решение этой задачи – вопросы обеспечения безопасности полетов, построения комплексной автоматизированной информационной системы ОБП (мониторинг БП) могут быть на основе комплексного подхода – с учетом классификации факторов опасности (ЧФ, ТФ, ВФ), с учетом выше перечисленных систем (БИИС, ИУС и ЭС). Это позволит обеспечить снижение рисков авиационных происшествий, чрезвычайных ситуаций и потерь человеческого, природного, экономического и оборонного потенциалов, создание условий для устойчивого развития государственной авиации, достижение показателей безопасности полетов, соответствующих уровню передовых авиационных держав.

Список литературы

1. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) (Doc 9859-AN/460). Издание первое — 2006 год.— ИКАО, 2006.

2. Федоров С. М., Михайлов О. И., Сухих Н. Н. Бортовые информационно-управляющие системы: Учеб. для вузов / Под ред. С. М. Федорова.—М.: Транспорт, 1994.— 262 с.

3. Гречишников В.М., Мирзаев Р.К. Методы и средства обеспечения БП на основе бортовых измерительных систем контроля параметров полета./ Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникации. Материалы Всероссийской НТК,12-14 май 2009г.- Самара, СГАУ, 2009г.с.101-108.

С.А. Прохоров, д.т.н., проф., В.М. Гречишников, д.т.н., проф., Р.К. Мирзаев, к.т.н., доц.
(Самарский государственный аэрокосмический университет, Россия)

НОВЫЕ СТАНДАРТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассматривается новый стандарт SMS (Doc 9859 AN/460, ICAO), которому в настоящее время уделяют повышенное внимание при разработке эксплуатантом систем управления безопасности полетов (СУБП). Остро стоит вопрос его использовании в бортовых ИИС обеспечения БП. Стандарты и Рекомендуемой практики (SARPs) ИКАО, документации по безопасности полетов и другие стандарты (ISO) гарантирует предотвращения авиационных происшествий (АП).

Гражданская авиация обладает исторически сложившейся нормативно-правовыми и нормативно закрепленной системой обеспечения безопасности полетов, предполетного и послеполетного обслуживания. На международном уровне принципы организации и функционирования системы регламентируются различными приложениями (6, 11 и 14 и т.д) к Конвенции о Международной гражданской авиации(Чикагской Конвенции ИКАО, 1944). В настоящее время ИКАО, Федеральное авиационное управление США, Всемирный фонд безопасности полетов и Евроконтроль уделяют повышенное внимание на использовании и неукоснительном соблюдении Стандарты и Рекомендуемой практики ИКАО по безопасности полетов и авиационной безопасности всеми государствами – участников Конвенции (более 200 государств).

ИКАО разработала в конце 2006г *Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) Doc 9859 AN/460* . Мировое авиационное сообщество , для исполнения приказа ИКАО на государственном уровне, предлагает внедрения этого стандарта в авиакомпаниях стран – членов этой организации до 01.01.2009г. Согласно требованиям Стандартов и Рекомендуемой практики (SARPS) ИКАО каждое Государство – член ИКАО обязано соблюдать SARPS ИКАО и должен иметь (до 01.01.2008) Программу обеспечения безопасности полетов (БП) в целях достижения приемлемого уровня безопасности при производстве полетов, а каждый эксплуатант воздушных судов (ВС) должен разработать систему управления безопасностью полетов (СУБП), одобренную государством и внедренную до 01.01.2009 – для достижения приемлемого уровня в рамках своей сфере деятельности [1,2] .

Государственная программа ОБП ГА в РФ принята 06.05.2008г, опубликовано 18.05.2008г. внедрение во все отрасли Министерство авиатранспорта – от государства вплоть до эксплуатанта намечается . В частности, отметим некоторые мероприятия из Государственной Программы, в котором четко указаны меры соблюдения Стандартов и Рекомендуемой практики (SARPS) ИКАО:

Эксплуатант (Авиакомпания) должен разработать по Стандарту и Рекомендуемой практики (SARPS) ИКАО СУБП. Но при разработке СУБП и внедрении РУБП эксплуатанты в РФ и СНГ столкнулись целым рядом проблем , обусловленных отсутствием Гос.Стандартов на СУБП и научно-обоснованных подходов по реализации рекомендации ИКАО . При рассмотрении РУБП возникает следующие проблемы:

1. Представленные показатели и уровни БП применимы после авиационного происшествия(АП), невозможно их использовать до АП и в реальном масштабе времени;

2. Как можно измерить БП в реальном масштабе времени?

3. Многие эмпирические модели, широко и часто цитируемые в литературе, в изданиях ИКАО и в РУБП, преподносятся как инструменты управления

деятельностью. Примеры: модели SHEL, модель Ризона, правило 1:600. Данные Модели полезны для иллюстрирования феномена, но не содержат количественного механизма и не могут быть использованы в управлении деятельностью;

4. Не представлены методы, модели и порядок обеспечения БП реального времени;

5. Не представлены структуры технической реализации СУБП, только структурируется пять, чаще четыре категории «менеджмента»: планирование, организация, руководства и контроль;

6. Декларируют проактивный метод как новый подход управления безопасностью взамен традиционного и консервативного "ретроактивного" подхода. В качестве проактивного метода предлагается использовать метод скользящего среднего.

Выше перечисленные проблемы представляют серьезную научно-техническую задачу и ее решение носит первостепенной важности. В этом направлении нами удалось решить ряд важных моментов – разработаны классификация СУБП с учетом различных факторов опасности, методы, модели, структуры СУБП реального времени.

СУБП обеспечивает организованный подход к управлению безопасностью полетов, предусматривает создание необходимых организационных структур, определение ответственности, обязанностей, политических принципов и правил. Сложность СУБП должна соответствовать требованиям организации к управлению безопасностью полетов. В основе СУБП лежит формальная процедура управления рисками, которая позволяет выявлять опасности, осуществлять их анализ и снижать уровень риска.

Применительно к эксплуатации ВС в качестве основного (но не единственного) показателя уровня безопасности , как меры используемой для выражения уровня БП, при согласовании приемлемого уровня безопасности, ИКАО рекомендует показатель количества АП с человеческими жертвами (т.е. количество катастроф, согласно определению в Правилах расследования авиационных происшествий(АП) и инцидентов) на 100000 вылетов (ст.1.4.18 РУБП) или часов полетного времени (ст. 1. 4. 13, 1. 4. 16 РУБП) [1]. Именно этот показатель и методика его оценивания вызывают основной поток вопросов, как со стороны государственных авиационных структур, так и со стороны эксплуатантов ВС. Главный вопрос: как на уровне эксплуатанта ВС оценивать количество АП с человеческими жертвами при отсутствии таковых? Такие же вопросы ставили другие авторы [3].

В отечественной авиации известна система показателей БП, введенных ГОСТом , ОСТом, научно обоснованных, внесенных в учебник по БП. Продолжительное время эти показатели широко использовались как военной, так и в гражданской авиации, но главным образом, в масштабе Государства (отрасли, ведомства). Некоторые из этих показателей используется и в наше время, даже совпадают с рекомендуемыми ИКАО, в том числе количество авиационных событий (инцидентов, аварий и катастроф), отнесенное к налету или фиксированному количеству полетов. Поскольку по традиционной методике оценивания достигнутого уровня БП для вычисления указанных показателей предусматривается наличие определенного количества авиационных событий за оцениваемый период, то для эксплуатантов ВС основные показатели (кол-во АП с человеческими жертвами и без жертв на 100000 полетов) остаются неприемлемыми: любая авиакомпания на начальном этапе имеет нулевые показатели («абсолютная безопасность») до первого АП, после которого сразу перестает соответствовать требованиям БП [2.3,4,].

Для всех участников авиационной системы, главным была и остается безопасность,. В соответствии с требованиями П. 1.4.5. Руководства ICAO по управлению безопасностью полетов SMS (Doc.9859 – AN/460) … « в соответствии с положениями Приложений 6, 11 и

14 государства требуют от всех эксплуатантов, организаций по техническому обслуживанию, поставщиков ОВД и сертифицированных эксплуатантов аэродромов внедрения систем управления безопасностью полётов, одобренных государством» [1,9]..

В идеальном варианте, система управления организации (эксплуатанта) должна состоять из двух отдельных, но дополняющих друг друга систем — системы управления качеством (СУК) и СУБП. СУК и СУБП обязаны соответствовать масштабу, характеру и сложности организации, учитывать все опасности и риски, связанные с ее деятельностью. Роль СУК состоит в том, чтобы контролировать соблюдение процедур, необходимых для обеспечения безопасного производства полетов, и поддержание летной годности воздушных судов. Системы СУК и СУБП выполняют дополняющие, но независимые функции, причем СУК контролируют работу СУБП. Но , в работе [10] приводится дополнительно другие системы управления : см.Таблицу.

Таблица

Наименование СУ организации	Наименование СУ на английском языке	Сокращение	Стандарт на СУ
Система управления безопасностью полётов(СУБП)	Safety Management System	SMS	Авиационные стандарты SMS Канады, США, Австралии и Великобритании
Система управления авиационной безопасностью	Security Management System	SeMS	
Система управления (менеджмента) качества (СУК)	Quality Management System	QMS	ISO 9001:2000
Система управление рисками предприятия	Enterprise Risk Management System	ERMS	ГОСТ Р 51898-2002 AS/NZS 4360:2004
Система управления поставщиками	Supplier Management System	SUMS	
Система управления безопасностью окружающей среды	Environmental Safety Management System	ESMS	ISO 14001:2004
Система управления профессиональной безопасностью и охраной труда	Occupational Health and SAfety management Systems	OHSAS	OHSAS 18001:2007

В настоящее время для СУБП эксплуатанта имеется стандарт SMS США, Ведикобритании, Канады, Австралии. Это следует приспосабливать к другим Авиапредприятиям, которые будут строить свою систему управления безопасностью полётов и могли разработать собственную интегрированную систему менеджмента. **Во-первых**, необходимо определить базовый стандарт SMS. **Во вторых**, рекомендуется

построить интегрированную систему менеджмента качества (СМК) на платформе требований ISO 9001:2000.

Интегрированные системы менеджмента (Integrated Management Systems (IMS)) отвечают требованиям двух или более стандартов системы менеджмента, имеют полностью или частично объединенные элементы и функционируют как единое целое. В управлении организациями используется понятие и определение "менеджмент", которое структурируется на пять, а чаще на четыре элемента: планирование, организация, руководство, контроль (ПОРК)

Из перечисленных выше систем менеджмента для эксплуатанта, интегрированную систему менеджмента могут составить QMS и SMS. Для аэропорта на первом этапе целесообразно интегрировать QMS и ESMS.

Система менеджмента качества, сертификат ISO 9000 , используемые при разработке СУБП:

Система менеджмента качества подтверждает признание качества продукции на международном уровне и соответствует требованиям международных стандартов ISO серии 9000 (ГОСТ Р ИСО 9001-2001),Сертификат ISO 9000 во всем мире является показателем стабильности компании, гарантом качества производимой продукции и оказываемых услуг. Система Менеджмента Качества по стандартам ISO 9000 подтверждает, что качество продукции находится на высоком уровне, что обеспечивается грамотным подбором кадров и хорошо отлаженной системой управления. Наличие сертификата ISO дает ряд преимуществ перед предприятиями, не прошедшими сертификацию.

Система документации по безопасности полетов, используемые при разработке СУБП:

Это технологические документы, по которым непосредственно осуществляется эксплуатация ВС, подлежит разработке эксплуатантом в обеспечение его сертификации государством эксплуатанта (для российских эксплуатантов - Ространспортнадзором) и допуска к осуществлению авиационных перевозок. Принятие в 2003 г. поправки 28 к части 1 Приложения 6 к Чикагской Конвенции еще более усилило ответственность каждого эксплуатанта в части подготовки и использования "**системы документации по безопасности полетов**", формируемой эксплуатантом самостоятельно на основе ЭД разработчика АТ и действующих нормативно-методических документов ГА.. Документация, предназначенная для выполнения по ней полетов и технической эксплуатации АТ персоналом конкретного эксплуатанта, образует требуемую Приложением 6 ИКАО систему документации по безопасности полетов. Она готовится эксплуатантом и представляется им на согласование и утверждение в авиационные администрации государства эксплуатанта и государства регистрации ВС. Их перечень приведен в [5,6,7,8].

Системы ГОСТов, используемые при разработке СУБП: см. Сайты Internet.

Заключение

Существуют многочисленное количество ГОСТов, Международные, рекомендованных Стандартами и Рекомендуемой практики (SARPS) ИКАО, из которых в зависимости от методологии и технологии построения СУБП, в том числе бортовых , могут быть разработан эксплуатантом свои СУБП в условиях сильной конкуренции и рыночной эканомики.

Список использованных источников

1. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) (Doc 9859-AN/460). Издание первое — 2006 год.— ИКАО, 2006.

2. Руководство по предотвращению авиационных происшествий. (Doc 9422-AN/923). Первое издание — 1984 год.— ИКАО, 1984.

3. *Гузий А. Г., Малевинский Ю. А.* Концепция предотвращения авиационных происшествий и управление уровнем безопасности полетов./ Труды общества независимых расследователей авиационных происшествий (Выпуск № 16).— М.: Полиграф, 2004. С. 160-168.

4. ГОСТ Р 51898-2002 Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты

5. Петров А.Н. Развитие методов формирования программ технического обслуживания ВС по условиям безопасности и экономичности эксплуатации. Труды 6-го Международного симпозиума "Авиационные технологии 21 века ", Жуковский, Россия, 14-19 августа 2001. (см. http://www.avia.ru/author/a35.shtml).

6. Приложение 6 к Чикагской Конвенции. Эксплуатация ВС. - ИКАО, 2001.

7. Руководство ИКАО по летной годности, Doc. 9760. Том 1, 2. - ИКАО, 2001.

8. Приложение 8 к Чикагской Конвенции. Летная годность ВС. - ИКАО, 2001.

9. СУБП. Отдел производства полетов Международный аэропорт Бангалор (BIAL) – Индия, Сентябрь 2007 г.

10. Шушурина Н.Н. Международные стандарты ISO- Теория и практика применения в Гражданской Авиации. – ООО *Русский Регистр – Гражданская Авиация*, 30 июня, 2008г.,

СЕКЦІЯ 2.

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

УДК 681.513:37:65.012

О.К. Юдін, доктор технічних наук, професор,
С.С. Кривша, аспірант, А.С. Супрунов, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

Авторами досліджено загально-концептуальні питання побудови і впровадження КСЗІ інформаційних ресурсів ВНЗ України, а також розглянуто та визначено основні проблеми, що пов'язані з стандартизацією побудови КСЗІ інформації вищого навчального закладу з урахуванням міжнародних та державних стандартів.

Вступ. Зростання міжнародного рейтингу України за рахунок розвитку інтелектуального потенціалу держави є одним із пріоритетних напрямів внутрішньої політики в наш час. Основним рушієм даного процесу є ефективна система освіти та науки, яка здатна забезпечити державу сучасними технологіями та кваліфікованими фахівцями всіх сфер життєдіяльності країни. Впровадження інформаційних технологій в освіту призвело до нових загроз не лише для конфіденційної інформації, що циркулює в інформаційних системах вищих навчальних закладів (ВНЗ), але й для неперервності процесу якісної освіти та інноваційно-творчої і наукової діяльності.

У сучасному вищому навчальному закладі зберігається і обробляється величезна кількість різних даних, пов'язаних не тільки із забезпеченням навчального процесу, але й з науково-дослідними та проектно-конструкторськими розробками, персональні дані студентів і співробітників, службова, комерційна та інша конфіденційна інформація.

Постановка задачі. Зростання кількості злочинів у сфері високих технологій диктує свої вимоги до захисту ресурсів обчислювальних мереж навчальних закладів і ставить завдання побудови власної інтегрованої системи безпеки. Саме вирішення цього завдання потребує наявності нормативно-правової бази, формування концепції безпеки, розробку заходів, планів і процедур щодо безпечної роботи, проектування, реалізації та супроводу технічних засобів захисту інформації (ЗЗІ) в рамках освітньої установи. Ці складові визначають єдину політику забезпечення інформаційної безпеки у вищому навчальному закладі.

Метою статті є розгляд загально-концептуальних питань побудови і впровадження комплексної системи захисту (КСЗІ) інформаційних ресурсів ВНЗ України з урахуванням: виробничих і бізнес процесів, напрямів інформатизації та інформаційних активів, основних вимог до взаємодії підрозділів, складових інфраструктури та загально-технічних вимог до інформаційної системи, інформаційних технологій освітнього процесу, тощо.

Також, до сфери досліджень авторського колективу входить визначення основних проблем, що пов'язані з стандартизацією побудови КСЗІ інформації вищого навчального закладу; розробка загальних вимог для створення стандарту з урахуванням міжнародних та державних стандартів України; визначення науково обґрунтованих напрямів розробки стандарту.

Загальний аналіз міжнародних стандартів та вимог

З огляду на вищезазначене при формуванні системи інформаційної безпеки доцільно звернутися до міжнародного досвіду в галузі захисту інформації та бізнес процесів. Одними з найбільш важливих нормативно-технічних документів, які стимулюють розвиток захищених інформаційних систем, мереж і засобів є документи, що стандартизують вимоги та критерії оцінки безпеки.

Стандарт інформаційної безпеки— *це нормативно-правовий документ з забезпечення захисту інформації, який призначений для взаємодії між виробниками, споживачами і експертами у процесі створення та експлуатації захищених систем оброблення та передачі даних.*

Стандарти забезпечення захистузвичайно містять опис послідовності оцінок, які необхідно виконати, щоб вважати дану характеристику безпеки підтвердженою з точки зору атестації захисту або множину характеристик безпеки, які повинні забезпечити система захисту, щоб її можна було використовувати в даному конкретному режимі забезпечення безпеки або у відповідності до загальної стратегії захисту.

Найбільш практичними та ефективними стандартами інформаційної безпеки є (у хронологічному порядку): Критерії безпеки комп'ютерних систем, Європейські критерії безпеки інформаційних технологій, Федеральні критерії безпеки інформаційних технологій, Канадські критерії безпеки комп'ютерних систем, Загальні критерії безпеки інформаційних технологій та сімейство стандартів ISO.

Найбільш актуальними в сфері захисту інформації є сімейство стандартів ISO 27000 та безпосередньо основоположні:

- *ISO/IEC 27001:2005* «Інформаційні технології. Методи забезпечення безпеки. Системи управління інформаційною безпекою. Вимоги»;
- *ISO/IEC 27002:*2005 «Інформаційні технології. Методи забезпечення безпеки. Практичні правила управління інформаційною безпекою (раніше ISO/IEC 17799:2005)»;
- *ISO/IEC 27005:2008* «Інформаційні технології. Методи забезпечення безпеки. Управління ризиками інформаційної безпеки», тощо.

Стандарти сімейства ISO 27000 — це модель системи менеджменту, яка визначає загальну організацію, класифікацію даних, системи доступу, напрямки планування, методи забезпечення безпеки, практичні правила та вимоги, відповідальність співробітників, використання оцінки ризику і та ін. в контексті інформаційної безпеки підприємств. У процесі впровадження стандарту створюється так звана система менеджменту інформаційної безпеки, мета якої скорочення матеріальних втрат, зв'язаних з порушенням інформаційної безпеки.

Спеціальне законодавство у сфері безпеки інформаційної діяльності представлене сукупністю законів. У їх складі особливе місце належить базовим законам, які закладають основи правового визначення всіх найважливіших компонентів інформаційної діяльності:

- інформації та інформаційних систем;
- суб'єктів — учасників інформаційних процесів;
- правовідносин виробників — споживачів інформаційної продукції;
- власників інформації — обробників і споживачів на основі відносин власності при забезпеченні гарантій інтересів громадян і держави.

Також слід приділити особливу увагу законам, що визначають засади захисту інформації в системах обробки і при її використанні з урахуванням категорій доступу до відкритої інформації та до інформації з обмеженим доступом. Важливу роль в інформаційній безпеці відіграють загальні норми з організації та підтримки інформаційних систем, включаючи банки даних державного призначення, порядку державної реєстрації, ліцензування, сертифікації, експертизи, а також загальні принципи захисту і гарантій прав учасників інформаційного процесу.

Таким чином, правовий захист інформації та стандартизація повинні забезпечуватися нормативно-законодавчими документами і актами, які являли б собою ієрархічну систему — від Конституції України до функціональних обов'язків і контракту окремого конкретного виконавця, що визначають перелік відомостей, що підлягають захисту, а також відповідальність за їх розголошення.

Аналіз існуючих проблем стандартизації побудови КСЗІ ВНЗ та шляхів їх вирішення

Слід зазначити, що ВНЗ в першу чергу є соціальним інститутом, призначення якого — виховання та професійна підготовка фахівців для різних сфер життєдіяльності суспільства. Від якості та безперервності підготовки залежить рівень розвитку економіки та суспільства в цілому.

Українська вища школа перебуває у процесі інформатизації, який має свої недоліки, що тісно пов’язані з активним впровадженням Інтернету та новітніх інформаційних технологій в навчальний процес. Одним із пріоритетних напрямів інформатизації ВНЗ є побудова комплексної системи захисту інформації.

Комплексна система захисту інформації ВНЗ — повинна бути системою збереження, обмеження та авторизованого доступу до інформації, що міститься на серверах в корпоративних мережах вузів, а також передана по інформаційно-комунікаційних каналах зв'язку в системах дистанційного навчання, тощо.

У більш широкому сенсі термін «комплексна система захисту інформації ВНЗ» повинна включати в себе два аспекти: систему захисту інтелектуальної власності ВНЗ від зовнішніх і внутрішніх агресивних впливів, систему управління доступом та захисту інформаційного простору від загроз. Останнім часом, у зв'язку з неконтрольованим масовим розвитком Інтернету, останній аспект безпеки стає особливо актуальним.

Під терміном «інформаційний простір» розуміється інформація, що міститься на серверах в корпоративних мережах навчальних закладів, установ, бібліотек, на електронних носіях та в глобальній мережі Інтернет.

Проблеми комплексної системи захисту корпоративних мереж ВНЗ набагато ширші, різноманітніші та гостріші, ніж в інших системах. Перш за все необхідно виділити наступні проблеми:

- корпоративна мережа ВНЗ будується зазвичай на концепції «обмеженого фінансування» (обладнання, кадри, неліцензійне програмне забезпечення);
- корпоративні мережі не мають стратегічних цілей розвитку(це означає, що топологія мереж, їх технічне і програмне забезпечення розглядаються з позицій поточних завдань);
- в одній корпоративній мережі ВНЗ вирішуються дві основні задачі: забезпечення освітньої та науковій діяльності, вирішення завдання управління освітнім і науковим процесами(це означає, що одночасно в цій мережі працює декілька автоматизованих систем або підсистем у рамках однієї системи управління);
- корпоративні мережі різнорідні як за обладнанням, так і за програмним забезпеченням, у зв'язку з тим, що створювалися протягом тривалого часу для різних завдань;
- відсутність централізованого управління інформаційною безпекою;
- плани комплексної системи захисту інформації, як правило, або відсутні, або не відповідають сучасним вимогам.

Це пов'язано з різноманіттям міжнародних та державних стандартів у галузі захисту інформації, але при цьому відсутністю єдиного національного стандарту для ВНЗ, який би регламентував планування, впровадження, перевірку та управління (обов’язково включаючи коригування) комплексною системою захисту інформації.

Особливості ВНЗ як об'єкта інформатизації пов'язані також з багатопрофільним характером діяльності, великою кількістю форм і методів навчальної роботи, просторової розгалуженої інфраструктури (філії, представництва). Сюди ж можна віднести і необхідність швидко адаптуватися до мінливого ринку освітніх та наукових послуг. Дещо полегшує проблему той момент, що ВНЗ є стабільною, ієрархічною за функціями управління системою, що володіє всіма необхідними умовами життєдіяльності і діє на принципах централізованого управління (останнє означає, що в управлінні завданнями інформатизації може активно використовуватися адміністративний ресурс).

Зазначені вище особливості обумовлюють необхідність дотримання наступних вимог при розробці узагальненого стандарту побудови комплексної системи захисту інформації вищого навчального закладу:

- комплексне опрацювання завдань інформаційної безпеки, починаючи з концепції і закінчуючи супроводом програмно-технічних рішень;
- залучення великої кількості фахівців, що володіють змістовною частиною ділових процесів;

• використання модульної структури корпоративних додатків, коли кожен модуль покриває взаємозв'язану групу ділових процедур або інформаційних сервісів при забезпеченні єдиних вимог до безпеки;

• застосування обґрунтованої послідовності етапів у вирішенні завдань інформаційної безпеки;

• документування розробок на базі розумного застосування стандартів, що гарантує створення ефективної системи;

• використання надійних і масштабованих апаратно-програмних платформ і технологій різного призначення, що забезпечують необхідний рівень безпеки.

З точки зору архітектури, в корпоративному інформаційному середовищі ВНЗ можна виділити три рівні, для забезпечення безпечного функціонування яких необхідно застосовувати різні підходи:

• обладнання обчислювальної мережі, каналів і ліній передачі даних, робочих місць користувачів, системи зберігання даних;

• операційні системи, мережеві служби і сервіси з управління обмеженням доступу до інформаційних ресурсів та об’єктів, програмне забезпечення середнього шару;

• прикладне програмне забезпечення, інформаційні сервіси і середовища (інформаційно-довідкові системи, бази даних та знань), орієнтовані на кінцевих користувачів.

При створенні комплексної системи захисту інформації необхідно забезпечити міжрівневе узгодження вимог з безпеки до вибору рішень або технологій, першочергово визначивши структурно-логічну структуру взаємодії підрозділів вищого навчального закладу, яка б включала в себе процедури обміну інформаційними потоками.

Для розробки ефективного спеціалізованого стандарту слід використати досвід зарубіжних країн (положення міжнародних стандартів), національний досвід (державні стандарти України) та звернути особливу увагу на особливості нормативно-правових документів, які використовуються у вищому навчальному закладі. Саме такий методологічний підхід дозволить досягти найкращого результату.

Висновки

В роботі досліджено загально-концептуальні питання побудови і впровадження КСЗІ інформаційних ресурсів ВНЗ України, а також розглянуто та визначено основні проблеми, що пов’язані з стандартизацією побудови КСЗІ інформації вищого навчального закладу з урахуванням міжнародних та державних стандартів. Визначено та обґрунтовано основні напрями розробки стандарту.

Список літератури

1. Віткін Л.М. Місце України у світовій та європейській якості. Стандартизація, сертифікація, якість — №3(18), 2002, с.43-49.

2. Зверард Кеменейд, Пол Гарр. Что требует бизнес и что дает вуз. Стандарты и качество, №10, 2001, с. 30-33.

3. Владимир Жуков.Управление качеством в системе непрерывного педагогического образования. Стандарты и качество, №9, 2002, с. 74-77

4. Юдін О.К. Матвійчук-Юдіна О.В.Яковенко О.Л. Методи розробки та впровадження комплексної інформаційно-довідкової системи підтримки навчального процесу. Збірка наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці .-К.:ІПМЕ НАН України, 2007 – спец.вип.. т.2 С. 123-124.

УДК 004.891.3:004.056(045)

А.І. Гізун, аспірант (Національний авіаційний університет, Україна),
В.О. Гнатюк (Хмельницький національний університет, Україна),
О П. Дуксенко, старший викл. (Міжрегіональна академія управління персоналом, Україна),
А.О. Корченко, асистент (Національний авіаційний університет, Україна)

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОСТІ БІЗНЕСУ

У роботі піднімається питання забезпечення надійності функціонування бізнес-процесів в умовах впливу негативних чинників кризових ситуацій. Крім того висвітлена концепція безперервності бізнесу. Дано визначення поняттю «кризова ситуація», наведені підходи до їх класифікації. Також, виділені фундаментальні терміни даної концепції – BCP і DRP, розглянуті відмінності між ними і наведено життєвий цикл планування BC.

З розвитком можливостей ІТ у сучасному світі на передній план виходить автоматизація управлінських, технологічних, виробничих та інших процесів. Таким чином інформаційні системи займають провідні ролі в системі функціонування бізнесу, причому взаємозв'язок ІТ та бізнес-процесів стає настільки тісним, що життєздатність підприємств повністю залежить від надійності технологій, що забезпечують підтримку найбільш важливих критичних бізнес-процесів.

Десять-п'ятнадцять років тому провідні світові компанії, в першу чергу - фінансовий сектор ринку, усвідомили ступінь залежності бізнесу від інформаційних технологій. Великі корпорації почали цілеспрямовано впроваджувати технології забезпечення безперервності бізнесу (ЗББ) в непередбачених ситуаціях [3].

У розвинених країнах ринок технологій і послуг, що забезпечують безперервність бізнесу (ББ), динамічно розвивається. Рівень його зростання становить близько 25% на рік і обумовлений, головним чином, тим, що середні компанії слідом за лідерами індустрії активно впроваджують у себе технології управління кризовими ситуаціями (КС) [2]. При цьому все більш актуальним стає забезпечення захисту від не катастрофічних, але більш ймовірних надзвичайних ситуацій.

Управління безперервністю бізнесу (УББ) на даний момент є одним з найбільш актуальних і динамічно розвиваючихся напрямків стратегічного та оперативного менеджменту сучасних підприємств [3]. Так, проаналізувавши досвід вітчизняних компаній, можна виділити такі основні проблеми: відсутність формалізованого опису БП, нерегулярний або неповний аналіз впливів на критично важливі бізнес-процеси, недостатня системна обробка предметної області, невідповідність підготовки персоналу тощо [1]. Таким чином, визначення основних термінів значно підвищило ефективність ЗББ. Саме в цьому полягає актуальність даної роботи.

Метою даної роботи є аналіз сучасних підходів захисту інформаційних ресурсів для ЗББ шляхом виділення основних понять ББ, їх визначення та класифікації для формалізації УББ, а також визначення проблем у даному питані та шляхів їх вирішення.

В роботах [1-7] наведені відомості законодавчого, науково-теоретичного та практичного характеру щодо ББ. Здійснивши аналіз даних та інших відомих джерел визначимо основні поняття УББ. Дослідження доцільно розпочати з визначення основних понять. Розглянемо деякі основні терміни, що використовуються в області технологій УББ.

Визначення кризових ситуацій та існуючі підходи їх класифікації

УББ спрямоване на захист активів та ресурсів підприємства чи організації від впливу КС. Тому найперше потрібно дати визначення терміну «кризова ситуація». Так стандарти та нормативні документи в галузі ЗББ дають наступні визначення:

Криза – ненормальна ситуація, яка загрожує операціям, персоналу, клієнтам і репутації підприємства [7].

Інцидент – подія, здатна привести до втрати чи порушення діяльності організації, послуг або функцій підприємства. Причому у випадку відсутності контролю вона може перерости в надзвичайну ситуацію, кризу або стихійне лихо [4-6].

Надзвичайна ситуація – загальний термін з різними інтерпретаціями в залежності від регіону. У США він означає широкомасштабну катастрофу, що вимагає федеральної підтримки і запуск фінансування Федеральної агенції управління надзвичайними ситуаціями. В інших країнах – вважається еквівалентними за змістом серйозним інцидентам [6].

Громадянська надзвичайна ситуація – подія або ситуація, яка може нанести серйозних збитків людському добробуту, навколишньому середовищу в будь-якому місці чи порушити безпеку цього місця [4,5].

Катастрофа – фізичне подія, що перериває бізнес-процеси достатньо, щоб загрожувати життєздатності організації [6].

Усі вищеназвані явища та процеси, хоча і мають різний характер та природу, негативно впливають на функціонування бізнес-процесів і бізнесу в цілому. Для уникнення проблем та непорозумінь в розвитку УББ дамо єдиний загальний термін для їх визначення. Кризова ситуація в аспекті безперервності бізнесу – це певна ситуація чи подія, що має місце на деякій території (організації, підприємстві), потенційно здатна нанести серйозних збитків організації, призвести до порушення діяльності організації, втрати послуг або функцій підприємства в достатньому об’ємі щоб загрожувати життєздатності організації.

Існує декілька підходів до класифікації КС. Однією з найбільш популярних є класифікація «переривників бізнесу» залежно від їх типу. Виділяють п’ять основних типів КС в залежності від природи негативного чинника:

1) підприємницький (переїзд підприємства чи організації в інше приміщення або офіс; промислове шпигунство; втрата архівів; злиття/придбання підприємств/організацій; перехід з ручної на автоматизовану інформаційну систему або з однієї автоматизованої системи на іншу; випадки рейдерства з боку кримінальних, комерційних чи державних структур);

2) соціальний (трудовий конфлікт, страйк; організований вихід співробітників або їх втрата в результаті, наприклад, нещасного випадку; неможливість набрати співробітників; людський фактор, тероризм у будь-якій формі і з застосуванням будь-якої зброї; несанкціонований доступ; злочини "білих комірців");

3) техногенний (відключення електроенергії; збої комп'ютерів; атаки хакерів; комп'ютерні віруси; аварії систем життєзабезпечення (прорив каналізації, трубопроводів та ін.); перебій у електропостачанні; порушення роботи громадського транспорту);

4) природний (снігова буря; землетрус; електромагнітні бурі; урагани; торнадо);

5) природно-техногенний (зимова погода; епідемії; пожежа, повінь).

Окрім даної класифікації КС можна поділити на види відносно можливості їх прогнозування (передбачувані і несподівані), за масштабом (кризові ситуації в рамках окремого бізнес-процесу, підприємства, на рівні групи підприємств) і т.п.

Проте жодна з існуючих класифікацій не є повної та не охоплює всіх аспектів. Тому в подальшому є необхідним провести систематизацію КС.

Планування ББ і аварійного відновлення як фундаментальні поняття УББ

Визначивши і розглянувши поняття «кризова ситуація», що є одним з центральних об’єктів УББ, перейдемо до розгляду його фундаментальних основ – процесів стратегічного менеджменту. Проаналізувавши напрацювання фахівців Інституту безперервності бізнесу (Business Continuity Institute, BCI), Міжнародного інституту відновлення після катастроф (Disaster Recovery Institute International, DRII) і інші наукові публікації та нормативно-правові акти виділимо два напрямки розвитку концепції: планування ББ і відновлення бізнес-процесів після аварій та катастроф. Розглянемо основні терміни стосовно названих напрямків захисту інформаційних ресурсів підприємства чи організації:

Безперервність бізнесу (Business Continuity, BC) - стратегічні й тактичні можливості організації для планування та реагування на інциденти і збої БП з метою продовження ділових операцій на прийнятному рівні [4-7].

Планування безперервності бізнесу (Business Continuity Planning, BCP) – процес попередньої розробки механізмів та процедур, які дозволяють організації реагувати на події таким чином, що критичні бізнес-функцій можуть продовжувати своє функціонування протягом запланованого часу порушення. Кінцевим результатом цього процесу є план ББ [6].

План забезпечення безперервності бізнесу - задокументована сукупність процедур та механізмів, яка розроблена, складена і підтримується в готовності для використання в умовах інциденту для того, щоб організація могла продовжувати здійснювати свої критичні функції і послуги на прийнятному рівні [4-7].

Аварійне відновлення (Disaster Recovery, DR) - стратегії і плани для відновлення організації технологічної інфраструктури та можливостей підприємства після серйозної перерви. В даний час зазвичай використовується тільки по відношенню до організації відновлення в області IT і телекомунікацій [6].

Планування аварійного відновлення (Disaster Recovery Planning, DRP) - діяльність, пов'язана з забезпеченням доступності IT-інфраструктури та її відновлення після настання кризової ситуації [6,7].

В уявлені бізнесу, а часто і IT-спеціалістів, поняття УББ нерідко ототожнюється з відновленням після катастроф. Необхідно чітко розуміти, що основною метою УББ є підтримання в актуальному стані достатньої кількості структур, операцій і ресурсів (активів), необхідних для стабільного функціонування організації в КС. Зазначене розуміння УББ істотно відрізняється від поняття АВ, яке тісно, якщо не виключно, пов'язане з IT. Сьогодні фокус уваги УББ зміщується на організацію в цілому, на критично важливі для бізнесу процеси, розширюючи горизонти розгляду проблеми за межі виключно інформаційних систем, незважаючи на їх важливість для сучасних компаній [1].

Існує декілька підходів до виділення етапів захисту інформаційних ресурсів. Проаналізувавши роботи фахівців та стандарти в цій області була запропонована модель поділу на етапи процесу застосування методів та технологій ЗББ. Так, основними етапами життєвого циклу систем УББ за даною моделлю є:

1) планування безперервності бізнесу

2) реалізація (введення в дію, експлуатація, тестування) розробленого плану.

На першому етапі повинен бути проведений аналіз загроз, ризиків, визначені активи та критично важливі ресурси, розроблена документація та проведене навчання персоналу. На другому етапі проводиться введення превентивних заходів та встановлення засобів, що забезпечують процедуру відновлення роботи критичних IT-процесів і бізнесу взагалі.

Деякі дослідники даного питання, серед яких і розробники стандарту BS25999 [4,5], використовують чотирьох етапну модель УББ, яка зображена на рис. 1.

Рис. 1. Життєвий цикл систем ЗББ

Існує ще третій підхід, за яким виділяють наступні стадії: аналізу, проектування, тестування та підтримки [2].

Таким чином, на даний момент в науковій літературі не існує єдиного підходу визначення сутності УББ та його фундаментальних напрямків – планування ББ та планування аварійного відновлення, що є суттєвою проблемою. Шляхом її вирішення може бути детальна систематизація сутності УББ.

Висновки

В даній роботі визначені основні поняття та положення УББ. Являючись одною з найбільш динамічно розвиваючихся теорій менеджменту, управління безперервністю бізнесу є ще не повністю формалізованим та структурованим. На території СНГ концепція знаходиться все ще в зародковому стані. Тому існує велика кількість проблем головним чинном через недостатню формалізацію та відсутність єдинного підходу до процесів захисту інформаційних ресурсів при ЗББ.

У першій частині визначене одне з центральних понять УББ – «кризова ситуація». Оскільки головним завданням систем та методів ЗББ є нейтралізація впливу КС на БП та інформаційні системи, що підтримують їх функціювання, або попередження їх винекнення, то необхідним є детальний розгляд даного поняття, його природи, характеристик, видів та приведення його до чіткого упорядкованого виду. Результати аналізу підходів до визначення КС показали недостатній рівень формалізації та необхідність систематизації даного поняття, що буде зроблено в подальших роботах. Саме точна та охоплююча всі аспекти УББ класифікація КС є найбільш ефективним шляхом вирішення проблем захисту інформаційних ресурсів від КС.

У другій частині розглянуті фундаментальні поняття УББ – планування ББ і планування аварійного відновлення. Часто ці два терміни отожнюються, але такий підхід є помилковим, тому що це два різних напрямки в розвитку ББ. Так як планування ББ є більш загальним поняттям, то основну увагу в дослідженні приділено йому. В роботі визначено власне значення вищезазначених термінів, основні підходи виділення стадій життєвого циклу планування неперервності бізнесу. Аналіз наукових публікацій показав відсутність єдиної точки зору на це питання. Кожен з наведених методів висвітлює процес ЗББ з певної сторони, проте жоден не охоплює всіх аспектів систем УББ. Таким чином доцільно було б в подальшому працювати над цим питанням в наступних роботах з метою виділення єдиного підходу до визначення суті процесів УББ, їх класифікації та формалізації.

Список літератури

1. Петренко С.А., Беляев А.В. Управление непрерывностью бизнеса. Ваш бизнес будет продолжаться. – М.: ДМК Пресс, Компания АйТи, 2011. – 400 с.

2. Jan Van Bon. ИТ СЕРВИС–МЕНЕДЖМЕНТ. Вводный курс на основе ITIL. – Van Haren Publishing, по заказу ITSMF Netherlands, 2003. – 72 с.

3. Harris S. CISSP Certification All-in-One Exam Guide. – 5th edition. – McGraw-Hill Osborne Media, 2010. – 1216 p.

4. Business continuity management. Code of practice: BS25999-1:2006 – BSI British Standards, 2006 – 28 p.

5. Business continuity management. Specification: BS25999-2:2007 – BSI British Standards, 2007. – 38 p.

6. Singapore Standard for Business Continuity Management: SS540:2008 – SPRING Singapore, 2008. – 54 p.

7. Business continuity – Managinig disruption-related risk: AS/NZS 5050 – Standards Australia, 2010. – 53 p.

УДК 004.056.5(045)

О.Г. Корченко, доктор технічних наук, професор,
Д.А. Горніцька, аспірант, Є.В. Іванченко, кандидат технічних наук, доцент
(Національний авіаційний університет, Україна)

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЕКСПЕРТА У СФЕРІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

Розглянуто та досліджено методи оцінки якості експерта з метою визначення параметрів, на основі яких можна здійснювати вибір найбільш ефективного методу для підвищення об'єктивності експертиз у сфері інформаційної безпеки.

Підбір кваліфікованої експертної групи (ЕГ) в значній мірі визначає ефективність реалізації експертних оцінок (ЕО). ЇЇ формування є достатньо складним завданням, оскільки воно пов'язане з визначенням якості такої групи [1], для чого потрібно враховувати відомі властивості якостей експертів (ЯЕ) та психофізіологічні особливості людини. Від цих особливостей значною мірою залежить успішність виконання експертом його обов'язків. При організації експертиз в різних сферах для підвищення їх об'єктивності здійснюється оцінка ЯЕ [2,3,7]. При реалізації експертиз в галузі інформаційної безпеки (ІБ) ЯЕ фактично не визначається [4–6], що безумовно негативно впливає на їх об'єктивність. В роботі [8] були здійснені дослідження методів оцінки ЯЕ апріорної групи, та визначені їх переваги і недоліки. Існує низка методів призначених для апостеріорної реалізації таких оцінок [1] і важливо мати рекомендації щодо їх ефективного використання. У цьому зв'язку актуальною задачею при реалізації експертиз у сфері ІБ є вибір ефективних методів для проведення відповідної процедури оцінки. У цьому зв'язку метою даної роботи є дослідження методів оцінки ЯЕ з метою визначення параметрів, за якими можна здійснювати їх вибір.

До методів оцінки ЯЕ відносяться п'ять груп [1]:

1. *Евристичні* оцінки, які базуються на: а) самооцінках ($Q_{сам}$): експерт самостійно оцінює свою професійну компетентність, тобто ступінь інформованості за різними сторонами об'єкта експертизи. [9,10]; б) взаємооцінках ($Q_{вз}$): в цілях зменшення суб'єктивності оцінка компетентності кожного експерта визначається як середня з оцінок, які надані рештою експертів; в) оцінках організаторів експертизи (ОЕ) ($Q_{ое}$) в кількісній формі надається характеристика зацікавленості експерта в участі у експертизі та його зібраності в ході опитування. Оцінка дається ОЕ [1].

2. *Експериментальні* оцінки отримані в результаті спеціальних тестувань експертів та базуються на методах: а) кваліметрична компетентність ($Q_{кк}$) [1]: потрібно розробляти спеціальні тести для визначення теоретичних знань та практичних вмінь експертів; б) об'єктивність корегування ($Q_{ок}$): оцінка схильності експертів до впливу суджень інших експертів; в) відтворення результатів ($Q_{вр}$) [1, 10]: при проведенні експертизи в декілька турів надається можливість відтворення експертом своїх оцінок через деякий проміжок часу. Чим менше відхилення, тим стабільніша думка експерта та більший показник відтворення результатів. Метод потребує додаткового часу для повторних опитувань та більше обчислень, наприклад, у порівнянні з евристичними оцінками [1], проте є більш об'єктивним.

3. *Статистичні оцінки* засновуються на відхиленні від середньої думки [7] і базуються на методах: а) ранжирування оцінюваних величин ($Q_{рв}$), який заснований на припущенні, що істинним значенням ЕО є середня оцінка ЕГ. Чим менше значення відхилення індивідуальної ЕО від колективної, тим вище ЯЕ, що дав цю оцінку. Метод потребує значних витрат часу для здійснення всього об'єму обчислень, наприклад, у порівнянні з апріорними евристичними оцінками [8]; б) визначення числових значень оцінюваних величин ($Q_{чз}$), в основі якого лежить поняття відстані між оцінками. Цей метод не потребує значних витрат; в) оцінки

об’єктивності ($Q_{об}$), для яких потрібно розробляти специфічні методики оцінки об’єктивності експертів. Іноді для цього використовуються оцінки відхилення від середнього [1].

4. *Документальні* ($Q_{до}$) засновані на аналізі документальних даних про експертів, проте вони лише доповнюють інші групи оцінок ЯЕ і не відіграють самостійної ролі [7]. Це пов'язано з тим, що велика частина чинників, що впливає на документальну оцінку, в тій чи іншій мірі вже враховується при взаємооцінці та з тим, що вплив чинників документальної оцінки залежить від галузі роботи експерта. Проте не слід відмовлятися чи піддавати сумніву надійність методики документальної оцінки.

5. *Комбіновані* ($Q_{ко}$) – оцінки, отримані за допомогою будь-якої сукупності вище згаданих методів [5]. Розглянемо кожну групу методів більш детально.

Група 1. *Евристичні оцінки.* Методи евристичної оцінки засновані на припущенні, що судження про даного експерта у оточуючих та у нього самого є об’єктивним [1].

Метод самооцінки ($Q_{сам}$). Достовірність усередненої ЕО тим вища, чим вище середнє значення самооцінки членів ЕГ [9,10]. Результати самооцінки експерта можуть не співпадати з оцінками, отриманими іншими методами. Самооцінка визначається за формулою: $K_{(сам)j} = \sum_{i=1}^{k} L_i K_{ij}$, де $K_{(сам)j}$ – коефіцієнт самооцінки j-го експерта ($j = \overline{1,N}$, де N – кількість експертів ЕГ); L_i – вагомість параметрів самооцінки ($i = \overline{1,k}$, де k – кількість параметрів самооцінки); K_{ij} – параметр самооцінки. Оскільки $\sum_{i=1}^{k} L_i = 1$, а $0 \le \boldsymbol{K_{ij}} \le 10$, то $0 \le K_{(сам)j} \le 10$.

Метод взаємооцінки ($Q_{вз}$). Кожен експерт дає кількісну оцінку всім експертам [1], а потім для кожного визначається середня оцінка (N<15). При $N \ge 15$ рекомендована наступна процедура. Перед початком експертизи експерти дають колективну оцінку один одному. Кожен з них об’єднує всіх експертів в три підгрупи у відповідності зі своїм представленням про їх якість: найбільш кваліфіковані, середньої кваліфікації та нижче середньої. Кількість осіб в підгрупі N_{ep} не повинно перевищувати 6–8. Після чого кожен учасник ранжує експертів кожної підгрупи. Нарешті, з урахуванням ранжирування кожному експерту (крім того, що оцінює) присвоюється числова оцінка від 0 (не кваліфікований) до 10 (найкваліфікованіший). Оцінка дається з точністю до половини бала, та визначається середня оцінка кожного експерта за формулою $K_{(вз)j} = (\sum_{p=1}^{N_1} K_{pj}) / N_i$, де $K_{(вз)j}$ – середня взаємооцінка j-го експерта ($j = \overline{1,N}$, де N – кількість експертів ЕГ); K_{pj} – оцінка, представлена p-м експертом j-му; N_i – число осіб, що оцінюють j-го експерта, при чому $N_i < N$; $N_i = N - N_m$. Зазвичай m=1.

Метод оцінки ОЕ ($Q_{ое}$). Призначення оцінок ОЕ базується на відношенні експертів до поточної експертизи, та їх активність при обговоренні оцінок. Подібно до інших, оцінку ОЕ доцільно визначати за на інтервалі [0;10] ($0 \le K_{ое} \le 10$), а також визначити рівень, вище якого будуть відбиратись кваліфіковані експерти. Методика відбору найкваліфікованіших експертів розробляється ОЕ, а також можливо використання підходів, запропонованих в [10].

Група 2. *Розглянемо групу методів експериментальних оцінок.* Полягає в проведенні оцінювання деяких психофізіологічних особливостей, від яких залежить ЯЕ.

Метод оцінки кваліметричної компетентності ($Q_{кк}$). Об’єктивність методу залежить від багатьох чинників: хто розробляє тести та наскільки відповідальний за розробку є кваліфікованим, оцінка результатів тощо [1]. Слід зазначити, що метод не достатньо формалізований, тривалий у підготовці, і хоча оцінку можливо провести достатньо швидко – його об’єктивність залежить від кваліфікованої підготовки вище згаданих даних.

Метод оцінки об’єктивності корегування своїх оцінок, відсутність конформізму ($Q_{ок}$). Для визначення схильності до конформізму часто використовують “метод підставної групи”: особі, що проходить тестування і групі інших підставних осіб, які попередньо домовилися з

експериментатором, демонструють предмет, характеристику якого потрібно визначити. Ступінь наближення судження до підставної групи характеризує міру його конформізму. Для простоти визначення конформізму експертів, можна використовувати формулу: $K_{ок}=C_2 - C_1$, де C_2 і C_1 відповідно кількість помилок експерта при самостійному винесенні суджень і сумісно з підставною групою.

Оцінка відтворення результатів ($Q_{вр}$). Оцінка відтворення може бути за допомогою коефіцієнта рангової кореляції (за Спірменом) між ранжируваннями двох турів, які були відтворені кожним j-м експертом: $K_{вр(j)} = 10R_j^{`}$, де $R`_j = 1 - (3\sum_{i=1}^{n} d`_{ij})/(n^3 - n)$, причому $d`_{ij}$ – різниця між рангам, присвоєним *j*-м експертом ($j = \overline{1,N}$; N – кількість експертів) *i*-му коефіцієнту вагомості ($i = \overline{1,n}$; n – кількість оцінюваних об'єктів) в першому і другому турах опитування. Оцінку відтворення результатів доцільно використовувати при формуванні ЕГ або при 2-х турах експертизи.

Група 3. *Статистичні оцінки.* На похибку ЕО впливають суб'єктивні (що залежать від експерта) та об'єктивні (що залежать від методики опитування) чинники. ЕО можливо представити у вигляді: ЕО= $ЕО_i \pm \Delta ЕО$, де $ЕО_i$ і $\Delta ЕО$ відповідно істинне значення оцінки та її похибка, причому $\Delta ЕО = \pm \Delta ЕО_{сист} \pm \Delta ЕО_{випад}$, де $\Delta ЕО_{сист}$ і $\Delta ЕО_{випад}$ відповідно систематична та випадкова складова похибки. Найчастіше ЕО надаються як ранжирувана послідовність або сукупність числових значень параметрів. Розглянемо оцінки ЯЕ стосовно цих двох типів ЕО.

Метод ранжирування оцінюваних величин ($Q_{рв}$) заснований на двох способах.

Спосіб 1. Метод ранжирування оцінюваних величин ($Q_{рв}$) базується на коефіцієнті конкордації та відображається наступним алгоритмом [1]: а) кожен *j*-й ($j = \overline{1,N}$) експерт формує множину ранжованих об'єктів $\mathbf{M}_j = \bigcup_{i=1}^{n} M_{ij}$, де M_{ij} – *i*-й об'єкт ($i = \overline{1,n}$) ранжований *j*-м експертом, n – кількість об'єктів, а N – кількість експертів;б) підраховується сума рангів кожного *i*-го об'єкта $S_i = \sum_{j=1}^{N} a_{ij}$, де a_{ij} – ранг M_{ij}; в) визначається відхилення від середньої суми рангів $V_i = S_i - S_p$, де S_p середня сума рангів, що визначається виразом: $S_p = N(n+1)/2$; г) обчислюється сума квадратів відхилень $S_{кв} = \sum_{i=1}^{n} V_i^2$; д) коефіцієнт конкордації (W_N) для N експертів визначається за формулою: $W_N = 12S_{кв}/(N^2(n^3 - n))$. Оскільки $0 \le W_N \le 1$, то при $W_N = 0$ у N експертів повністю відсутня будь-яка узгодженість, а при $W_N = 1$ вона є повною; ж) аналогічним чином рахується коефіцієнт конкордації W_{N-1}^j для групи з (N–1) експертів (тобто для групи, з якої виключений один *j*-й експерт); з) для кожного *j*-го експерта обчислюється відхилення $\Delta W_N^j = W_N - W_{N-1}^j$; к) оцінка компетентності *j*-го експерта $K_{рв}{}^j = b\Delta W_N^j$ приймається пропорційною величиною відхилення $\Delta W_N{}^j$, де b – коефіцієнт пропорційності, може визначатися експертним методом. Перший спосіб є ефективним, проте на відміну від другого потребує значних витрат часу та обчислень. Розглянемо його.

Спосіб 2. Базується на *використанні коефіцієнту рангової кореляції* (за Спірменом) між ранжуванням експерта та середнім ранжуванням [7]: $R_j = 1 - (6\sum_{i=1}^{n} d_i^2)/(n^3 - n)$, де d_i – різниця між середнім рангом та присвоєним даним експертом *i*-му об'єкту при відсутності зв'язаних рангів ($i = \overline{1,n}$; n – кількість оцінюваних об'єктів). Оскільки величина R_j ($j = \overline{1,N}$; N – кількість експертів) знаходиться в інтервалі $-1 \le R_j \le 1$, то для зручності її використання при оцінці ЯЕ величина R_j відображається на шкалі 0÷1 за допомогою формули $R`_j = 1 - (3\sum_{i=1}^{n} d_i^2)/(n^3 - n)$. Тоді, за десятибальною шкалою оцінка ЯЕ за відхиленням від середнього буде $K^j_{рв} = 10\ R`_j$.

Метод визначення числових значень оцінюваних величин ($Q_{чз}$) базується на наданих значеннях коефіцієнтів важливості та понятті відстані: $\rho_j = 1/2\sum_{i=1}^{n}\left[\overline{M_i} - M_{ij}\right]$, де i – кількість об'єктів, що оцінюються ($i = \overline{1,n}$), j – кількість експертів ($j = \overline{1,N}$), M_{ij} – коефіцієнти вагомості, надані експертами, $\overline{M_i}$ – середні коефіцієнти вагомості i-го об'єкта. Тоді $K_{чз(j)} = 10(1-\rho_j)$.

Метод оцінки об'єктивності ($Q_{об}$). Оцінка об'єктивності експерта є важливою характеристикою його якості. Проте поки що не існує специфічних методів її оцінки. В деяких випадках для цього використовуються оцінки відхилення від середнього. Слід зазначити, що метод не достатньо формалізований, тривалий у підготовці (потрібно розробляти анкетні дані, тестові тексти та ін.), і хоча оцінку можливо провести достатньо швидко – його об'єктивність залежить від кваліфікованої підготовки вище згаданих даних.

Група 4. *Документальні оцінки* ($Q_{до}$). Виділяють множину параметрів $K_{до}$ [1], вплив яких на ЯЕ може бути визначено об'єктивно, тобто в значній мірі незалежно. Тоді $K_{(j)} = \sum_{i=1}^{k} L_i \mathrm{D}_i$, де $K_{до(j)}$ – коефіцієнт документальної оцінки j-го експерта ($j = \overline{1,N}$, де N – кількість експертів ЕГ); L_i – вагомість документальних параметрів ($i = \overline{1,k}$, де k – кількість параметрів); D_i – параметри документальних оцінок.

Група 5. *Комбіновані оцінки* ($Q_{ко}$). Найбільш повна характеристика ЯЕ може бути отримана на основі спільного використання евристичних, експериментальних чи документальних оцінок. Комплексна оцінка ЯЕ може бути розрахована за формулою: $K_{ко} = M_{сам} \cdot K_{сам} + M_{вз} \cdot K_{вз} + M_{ое} \cdot K_{ое} + M_{ок} \cdot K_{ок} + M_{до} \cdot K_{до}$, де $M_{сам}$, $M_{вз}$, $M_{ое}$, $M_{ок}$ та $M_{до}$– ваги відповідних апріорних оцінок. Коли оцінка $К_{ко}$ потрібна для вибору кращого із кандидатів в експертну групу, тобто до початку експертизи, і неможливо отримати $K_{ое}$, $K_{ок}$ та $K_{до}$, достатньо обмежитися спрощеною комбінованою оцінкою, яка залежить тільки від параметрів самооцінки $K_{сам}$ та взаємооцінки $K_{вз}$: $K_{ко} = M_{сам}K_{сам} + M_{вз}K_{вз}$.

Підсумовуючи, зведемо в табл.1 характеристики, які дають можливість ефективно обрати метод оцінки ЯЕ. Тут параметр N визначає для якої кількості експертів може бути використаний метод. Також методи класифіковані за тривалістю підготовки (ТП) та реалізації (ТР), де "В" – висока, "НВ" – недостатньо висока, "Н" – низька та можливим рівнем об'єктивності результатів (РО), де "В" – високий, тобто незалежний від суб'єктивних чинників, "НВ" – недостатньо високий, "Н" – низький.

Табл.1. Вибір методу оцінки ЯЕ до початку експертизи

Характеристики	Методи												
	$Q_{сам}$	$Q_{вз}$	$Q_{ое}$	$Q_{кк}$	$Q_{ок}$	$Q_{вр}$	$Q_{рв}$		$Q_{чз}$	$Q_{об}$	$Q_{вр}$	$Q_{до}$	$Q_{ко}$
							Сп.1	Сп. 2					
N=1	+	–	+	+	–		–	+	+	+	+	+	+
N>1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ТП	Н	Н	НВ	В	В	+	Н	Н	В	В	НВ	В	В
ТР	Н	Н	НВ	НВ	В	НВ	В	Н	НВ	НВ	НВ	Н	В
РО	Н	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ	В	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ	В

Висновки

В даній роботі досліджені методи оцінки ЯЕ та визначенні параметри, на основі яких можна здійснювати вибір найбільш ефективного методу для підвищення об'єктивності експертиз у сфері ІБ. Результати роботи можуть бути використані при реалізації експертиз та для подальших досліджень інших класів методів оцінки ЯЕ.

Список літератури

1. Райхман Э. Л. Экспертные методы в оценке качества товаров / Э. Л. Райхман, Г. Г. Азгальдов. – М.: Экономика, 1974. – 151 с.

2. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) / Гарри Гайкович Азгальдов. – М.: Экономика, 1982. – 256 с

3. Миркин Б. Г. Проблема группового выбра / Борис Григорьевич Миркин. – М.: Наука,

4. Научное управление обществом / [авт..тексту Григоров В.М.] – М.: «Мысль», 1972. – 285 с

5. Герасименко В. А. Основы защиты информации / В. А. Герасименко, А. А. Малюк. – М.: МИФИ (МГТУ), 1997. – 537 с

6. Методы определения коэффициентов важности критериев / А.М. Анохин, В.А. Глотов, В.В. Павельев [и др.] // Журнал Автоматика и телемеханика. – Москва, 1997. – № 8. – С. 3–35.

7. Орлов А. И. Экспертные оценки. Учебное пособие / Александр Иванович Орлов. – М., 2002. – 31с.

8. Дослідження методів апріорної оцінки якості експерта для реалізації експертиз у сфері інформаційної безпеки / О.Г. Корченко, Д.А. Горніцька, Т.Р. Захарчук // Захист інформації. – Київ, 2010. – №4. – С.53–60.

9. Бехтерев В.М.Влияние коллектива на личность / В.М. Бехтерев, М.В. Ланге // Педология и воспитание. – М., «Работник просвещения»,1928 – 244 с.

10.Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения. / А.Г.Корченко – К.:МК – Пресс, 2006. – 320 с.

УДК 004.056:004.415.532(045)

К.П. Ануфрієнко, кандидат технічних наук НАУ, асистент
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОГЛЯД ІНТЕГРОВАНИХ СЕРЕДОВИЩ ФАЗЗІНГУ

Пропонується огляд та порівняльний аналіз інтегрованих середовищ фаззінгу. Встановлені основні характеристики таких середовищ. Результати даної роботи можуть бути використані для здійснення обґрунтованого вибору інтегрованого середовища фаззінгу для розв'язання задач підвищення захищеності програмного забезпечення.

Вступ. Існують різні підходи до підвищення захищеності програмного забезпечення. Серед них особливу групу становлять методи виявлення уразливостей програм, які на даний момент поділяються на три основні напрямки: виявлення уразливостей за допомогою аналізу початкових текстів програм; виявлення уразливостей за допомогою аналізу двійкових кодів програм; виявлення уразливостей за допомогою фаззінгу [1]. Останнім часом найбільш перспективним вважається виявлення уразливостей за допомогою фаззінгу [2].

Фаззінг (fuzzing) — це метод виявлення уразливостей у програмному забезпеченні за допомогою передачі йому різноманітних несподіваних вхідних даних та моніторингу винятків, тобто проблемних реакції під час виконання. Звичайно це автоматизований або напівавтоматизований процес. Це досить загальне визначення, але воно висвітлює основну концепцію фаззінгу [2].

Програмні засоби, які реалізують фаззінг, називають фаззерами.

Аналіз досліджень і публікацій, присвячених виявленню уразливостей за допомогою фаззінгу, в т.ч. [1–5], показав, що існує ціла низка спеціалізованих фаззерів, які працюють з багатьма відомими та задокументованими мережевими протоколами та файловими форматами. Незважаючи на те, що застосування цих фаззерів досить ефективне при роботі з цілою низкою популярних застосунків, часто буває необхідним більш індивідуальний підхід — для ретельного фаззінгу користувацьких протоколів та протоколів, які раніше не досліджувалися. Саме в цих випадках надзвичайно корисними є так звані інтегровані середовища фаззінгу (ІСФ) [2], або фреймворки (англ. fuzzing frameworks).

Інтегровані середовища фаззінгу, як правило, є набором підпрограм, які можуть бути використані для швидкого написання фаззеру [3, с. 146]. Крім того, фреймворк фаззінгу може стати гарною основою для розробки нової фаззінгової системи виявлення уразливостей.

Постановка завдання. Проте засобів, які позиціонують себе як ІСФ чимало, і усі вони мають різноманітні характеристики, свої переваги і недоліки. Отже, виникає актуальна потреба провести порівняльний аналіз ІСФ, що дозволить здійснювати обґрунтований вибір фреймворку для розв'язання задач підвищення захищеності певного програмного забезпечення. Тому завданням даної роботи є порівняльний аналіз низки ІСФ та виявлення їх основних характеристик. При цьому не ставиться за завдання охопити усі системи, які намагаються позиціонувати себе як фреймворки. Принципами відбору розглянутих далі інтегрованих середовищ є їх досконалість та функціональна оснащеність.

Виклад основного матеріалу досліджень. Інтегровані середовища фаззінгу часто використовуються для сприяння легкому і швидкому створенню «одноразових» фаззерів. Основна ідея цих видів засобів — повторне використання коду [3, с. 146]. Фреймворк фаззінгу повинен надавати засоби для максимізації можливості повторного використання коду. Розроблені компоненти повинні бути легкодоступними для творців майбутніх проектів. При правильній реалізації ця концепція забезпечить еволюцію фаззеру — чим більше він буде використовуватися, тим «розумнішим» стане [2].

Фаззери можуть мати різні рівні знання протоколу. Деякі фаззери реалізовані як ІСФ, які забезпечують кінцевого користувача платформою для створення фаззінгових випробувань для довільних протоколів. Фреймворки фаззінгу, як правило, вимагають значних часо-

вих та ресурсних витрат для моделювання випробувань для нового інтерфейсу, і якщо інтегроване середовище не пропонує готових вхідних даних для спільних структур та елементів, ефективне випробування також вимагає значного досвіду у проектуванні вхідних даних, які здатні викликати помилки в інтерфейсі, який випробується. Деякі ІСФ інтегрують створені користувачами тестові модулі назад до платформи, в результаті чого нові випробування в межах досяжності інших користувачів, але у цілому інтегровані середовища фаззінгу вимагають нових тестів, щоб завжди бути реалізованими з нуля. Ці чинники можуть обмежувати доступність, зручність використання та застосовність ІСФ [3, с. 31].

Гарне ІСФ повинне запобігати виконанню рутинних завдань та мінімізувати їх кількість. Для того щоб полегшити проходження перших етапів моделювання протоколів, в деякі фреймворки вбудовані програми, що конвертують перехоплений мережевий трафік у формат, який використовує дане інтегроване середовище [2].

Більшість ІСФ реалізує методи генерації псевдовипадкових даних. Розвинуті фреймворки пішли далі і напрацьовують цілий набір евристик атаки. Евристика атаки — це ніщо інше як збережена послідовність даних, яка призвела до програмної помилки. Реалізація циклу через кінцевий перелік подібних контрольних прикладів перед тим, як приступити до генерації випадкових даних, може зекономити час [2].

За результатами досліджень пропонується для порівняльного аналізу використати наступні основні характеристики ІСФ: мова реалізаці; платформа (операційна система), на якій працює фреймворк; мова розробки фаззерів; автоматизація формування формату протоколу; наявність наборів евристик атак; можливість повторного використання коду; доступність використання. Результати порівняльного аналізу фреймворків фаззінгу приведені у табл. 1.

Antiparser — програмний інтерфейс, написаний мовою Python і призначений для використання при створенні випадкових даних, особливо при розробці фаззерів. Це інтегроване середовище може бути використане для розробки фаззерів, які можна запускати на різних платформах, оскільки фреймворк залежить виключно від доступності інтерпретатора мови Python. Незважаючи на те, що це інтегроване середовище просте та має певні переваги при генерації простих фаззерів, воно буде недоречне при розв’язанні більш складних задач [2, с. 371].

Dfuz — ІСФ, написане мовою C, з відкритим початковим кодом. Цей фреймворк був використаний при розкритті різноманітних уразливостей у програмному забезпеченні від таких компаній як Microsoft, Ipswitch та RealNetworks [2, с. 373]. Dfuz був призначений для використання в операційних системах Unix/Linux та використовує власну мову для розробки нових фаззерів. Дане ІСФ має простий та інтуїтивно зрозумілий дизайн, що робить його гарним учбовим прикладом улаштування фреймворку. Dfuz дозволяє в певному ступені повторне використання коду, але навіть і близько не в тому ступені, в якому це пропонують інші фреймворки, наприклад Peach. Невистачає також інтелектуального набору евристик атаки [2, с. 377].

SPIKE написаний на мові C і є, мабуть, найбільш популярним та визнаним фреймворком фаззінгу [2, с. 378]. Його початкові коди відкриті. Це ІСФ надає користувачу програмний інтерфейс, що дозволяє швидко та ефективно розробляти фаззери мережевих протоколів [1; 2]. Остання на даний час версія 2.9 цього фреймворку містить набір, що нараховує майже 700 евристик атаки [2, с. 379].

SPIKE застосував новаторську у свій час технологію представлення мережевих протоколів, а відтак і їх фаззінгу. Структури даних протоколу розбиваються та представляються у вигляді блоків (що також називаються SPIKE), у яких містяться і двійкові дані, і дані про розмір блоку. Подання протоколу у вигляді блоків дозволяє створювати в абстрактному вигляді різноманітні шари протоколу, і автоматично визначати його розміри [2, с. 378]. Згодом ціла низка ІСФ перейняли у SPIKE цю технологію блокового методу фаззінгу [2, с. 381].

Безсумнівними недоліками SPIKE є такі: 1) навіть для здійснення незначних змін фреймворку (наприклад, додавання нових рядків фаззінгу) потрібна повторна компіляція;

2) повторне використання коду вже розроблених фаззерів полягає у його копіюванні та вставленні вручну [2, с. 381].

Таблиця 1. Порівняльний аналіз інтегрованих середовищ фаззінгу

ІСФ	Мова реалізації	Платформи	Мова розробки фаззерів	Автоматизація формування формату протоколу	Наявність евристик атак	Повторне використання коду	Доступність використання
Antiparser	Python	Будь-яка, яка підтримує мову Python	Python	—	—	ручне	просте використання; дуже бідна документація
Dfuz	C	Unix/Linux	власна скриптова мова	емуляція FTP, POP3, Telnet, SMB	—	обмежене	просте використання
SPIKE	C	Unix/Linux	C	блокове подання	майже 700	тільки шляхом копіювання вручну	несистематизована та заплутана документація
Peach	Python	Будь-яка, яка підтримує мову Python	XML	моделювання субкомпонентів протоколу	—	гнучке	доступна документація
GPF	C	Unix/Linux	власна скриптова мова	мутація перехопленого трафіку та двійкових протоколів	—	—	складне використання
Autodafé	C	Unix/Linux	C	блокове подання	+	ускладнене	докладна документація [4]
Fuzzled	Perl	Будь-яка, яка підтримує мову Perl	скриптова мова	моделювання певних протоколів	+	можливе	дуже бідна документація
Sulley	Python	Будь-яка, яка підтримує мову Python	Python	блокове подання	+	гнучке	докладна документація [2]

Peach є міжплатформним ІСФ з відкритим початковим кодом, написаним на мові Python. У порівнянні з іншими доступними фреймворками фаззінгу Peach, мабуть, володіє найгнучкішою архітектурою, яка найбільш сприятлива для повторного використання коду [2; 3]. Дане інтегроване середовище має цілу низку базових компонентів, необхідних для створення нових фаззерів, включаючи генератори, перетворювачі, протоколи, видавці та групи [2, с. 381].

Генератори відповідають за генерацію даних — від простих рядків до багатошарових двійкових повідомлень. Для спрощення процесу генерації складних типів даних генератори можуть об’єднуватися у ланцюжки. Перетворювачі змінюють дані та можуть об’єднуватися у ланцюжок та приєднуватися до генератору. Так звані видавці забезпечують транспортування згенерованих даних через протокол. Абстрагування процесів генерації та перетворення даних, видавців в окремі об’єкти забезпечує простоту повторного використання коду вже розроблених фаззерів. Групи містять один або більше генераторів і є апаратом, що забезпечує проходження через усі значення, які може породити генератор [2, с. 382].

Виходячи з теоретичних засад Peach є досить ефективним фреймворком.

GPF був розроблений для використання на платформі Unix і має відкритий початковий код. Основна перевага цього ІСФ полягає у мінімальних витратах, необхідних для початку розробки та запуску фаззеру. У цілому, GPF є цінним інструментом завдяки його гнучкості та здатності до розширення. Здатність до автоматичної обробки та фаззінгу протоколів ASCII є дуже потужною і виділяє його серед інших інтегрованих середовищ [2; 3].

Autodafé називають фреймворком SPIKE наступного покоління, який може бути використаний для фаззінгу мережевих протоколів та форматів файлу [2, с. 387]. Ця система призначена для використання на платформі Unix, написана на мові C і поширюється з відкритим початковим кодом. Найбільш вражаюча характеристика цього середовища — налагоджувач. Для внесення змін у цей фреймворк необхідно повторна компіляція [2; 4].

Одним з наймолодших інтегрованих середовищ фаззінгу є Fuzzled, розроблений на мові Perl. Fuzzled є подібним до Peach у тому, що допоміжні функції дозволяють розробляти широкий спектр засобів фаззінгу. Fuzzled містить код, який допомагає з різними евристиками, побудовою певних протоколів та реалізує інші функції. Зокрема, він підтримує NNTP, SMTP, IMAP та інші протоколи [3, с. 148; 5].

Sulley — це інтегроване середовище розробки фаззерів та здійснення фаззінгової перевірки, що складається з великої кількості розширюваних компонентів. На думку авторів праці [2] фреймворк Sulley перевершує за своїми можливостями усі раніше випущені технології фаззінгу. Мета даного ІСФ спростити не тільки подання даних, але також передачу даних та моніторинг об’єкту. Також Sulley виявляє, відслідковує та класифікує виявленні помилки. Цей засіб здатний виявляти те, яка унікальна послідовність контрольних прикладів призвела до появи помилок.

Висновки. Таким чином, було запропоновано для порівняльного аналізу ІСФ використати наступні їх основні характеристики: мова реалізаці; платформа; мова розробки фаззерів; автоматизація формування формату протоколу; наявність наборів евристик атак; можливість повторного використання коду; доступність використання. Був проведений аналіз наступних фреймворків: Antiparser, Dfuz, SPIKE, Peach, GPF, Autodafé, Fuzzled, Sulley. Одним з найрозвинутіших інтегрованих середовищ виявився Sulley.

Результати цієї роботи можуть бути використані для здійснення обґрунтованого вибору фреймворку для розв’язання задач підвищення захищеності програмного забезпечення, зокрема для швидкого написання фаззерів або розробки нової фаззінгової системи виявлення уразливостей.

Список літератури

1. *Козиол Дж*. Искусство взлома и защиты систем = The Shellcoder’s Handbook / Джек Козиол, Дэвид Личфилд, Дэйв Эйтэл, Крис Энли, Синан Эрен, Нил Мехта, Рили Хассель. — Пер. с англ. — СПб. : Питер, 2006. — 416 с. — ISBN 5-469-01233-6.

2. *Саттон М*. Fuzzing: Исследование уязвимостей методом грубой силы / Майкл Саттон, Адам Грин, Педрам Амини. — Пер. с англ. — СПб. : Символ-Плюс, 2009. — 560 с. — ISBN 978-5-93286-147-9.

3. *Takanen A*. Fuzzing for Software Security Testing and Quality Assurance / Ari Takanen, Jared DeMott, Charlie Miller. — Norwood, MA, USA: Artech House, 2008. — 287 p. — ISBN 978-1-59693-214-2.

4. *Vuagnoux M*. Autodafé: an Act of Software Torture [Electronic resource] / Martin Vuagnoux // 22nd Chaos Communication Congress. — Electronic data. — Hamburg, Germany : Chaos Computer Club e. V., 2005. — Mode of access: World Wide Web. — URL: http://events.ccc.de/congress/2005/fahrplan/events/606.en.html. — Title from screen. — Description based on version dated 2007 January 15.

5. *Brown T*. Writing a fuzzer using the Fuzzled framework [Electronic resource] / Tim Brown // Nth Dimension. — Electronic data. — London : Portcullis Computer Security Ltd., 2008. — Mode of access: World Wide Web. — URL: http://www.nth-dimension.org.uk/pub/WAFUTFF.pdf. — Title from screen. — Description based on version dated 2008 February 24.

УДК: 004.056, 004.075

В.Б. Дудикевич, доктор технічних наук, Ю.Р. Гарасим
(Національний університет «Львівська політехніка», Україна)

ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З МІСТКОВОЮ ТА ПОСЛІДОВНО-ПАРАЛЕЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

В статті здійснено оцінку живучості типових систем захисту інформації в корпоративних мережах зв'язку з містковою та послідовно-паралельною структурою. Оцінювання здійснювалось за допомогою логіко-ймовірнісних математичних моделей за станом системи, за результатами виконання завдання та моделі потокової оцінки живучості засобами імітаційного моделювання.

Для формальної оцінки живучості [1] систем захисту інформації (СЗІ) в корпоративних мережах зв'язку (КМЗ) [2] враховуються інтегральні багатофакторні (багатокритерійні) показники, що містять як кількісні, так і якісні характеристики: виживаність системи при n-кратному впливі дестабілізуючих факторів (ДФ), d-живучість, m-живучість, середня кількість впливів ДФ, що призводить до втрати працездатності СЗІ в КМЗ, середній запас живучості, умовна функція живучості, функція виживаності системи при n-кратному впливі ДФ, безумовна функція живучості, ймовірність ураження конкретного структурного елементу (СЕ), кількість СЕ, що залишилися після впливу ДФ [3]. На основі вищенаведених показників формується критерій $Surv = \{R(n), m, d, ...\}$ для вибору оптимальної структури СЗІ в КМЗ за властивістю живучості в умовах невизначеності впливу ДФ [4].

Результати імітаційного моделювання оцінки живучості для двох типових структур СЗІ в КМЗ подані нижче [5-7]. Моделювання здійснювалося в програмному середовищі Mathcad 14.

Оцінка живучості за станом системи. Для СЗІ в КМЗ з містковою структурою (рис. 1) результати оцінки живучості $R(n)$ при $n \le 5$ за станом системи наведено на рис. 2.

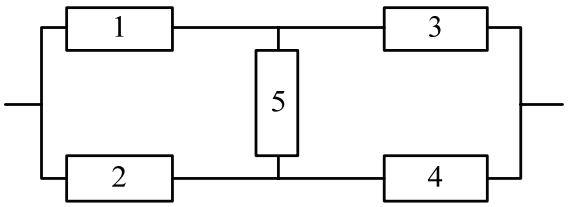


Рис. 1. Типова СЗІ в КМЗ з містковою структурою

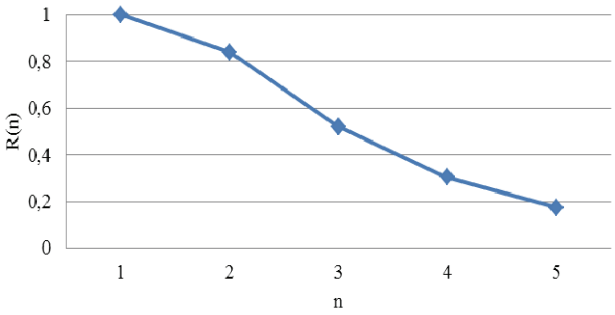


Рис. 2. Значення виживаності при *n*-кратному впливі ДФ для СЗІ в КМЗ з містковою структурою

Середній запас живучості $\overline{d} = 3.083$. Варто звернути увагу на те, що для даної структури $d = 2$, а $m = 3$. Відповідно, середній запас живучості більший за максимальну кількість СЕ, яка може бути видалена без втрати працездатності, більша за m-живучість. Цей ефект пояснимо тим, що деякі СЕ потрапляють в область впливу ДФ декілька разів.

Для СЗІ в КМЗ з послідовно-паралельною структурою (рис. 3) результати оцінки живучості за станом системи після n-кратного впливу ДФ наведено на рис. 4. Середній запас живучості $\overline{d} = 1.9524$. Це суттєво менше, ніж m-живучість (в цьому випадку $m = 4$).

Порівнюючи отримані результати оцінки живучості ($R(n)$) з випадком, коли уражені СЕ виключаються із області дії наступних ДФ при рівноймовірному ураженні працездатних СЕ, які залишилися ($R^*(n)$), бачимо, що $R(n)$ зменшується значно швидше, ніж в схемі неза-

лежних ДФ (при «пасивній стратегії»). Середня кількість ДФ, що призводить до втрати працездатності СЗІ в КМЗ – $\overline{\omega} = 2.547$. Це також менше, ніж в попередньому випадку.

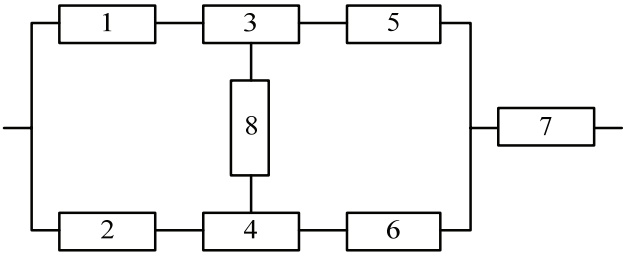


Рис. 3. Типова СЗІ в КМЗ з послідовно-паралельною структурою

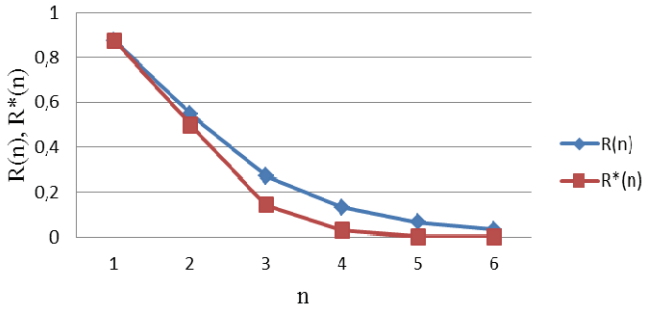


Рис. 4. Значення виживаності при n-кратному впливі ДФ для СЗІ з послідовно-паралельною структурою

Результати дослідження СЗІ в КМЗ із загальним структурним резервом з цілою кратністю (рис. 5) наведено на рис. 6, на якому показано зміну умовного закону вразливості $Q(n)$ із збільшенням кількості СЕ і кількості впливів ДФ.

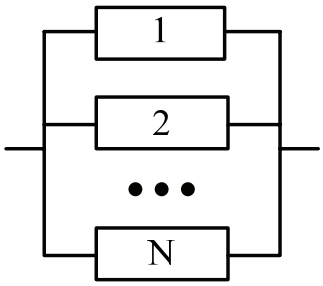


Рис. 5. Система СЗІ в КМЗ із загальним резервуванням з цілою кратністю

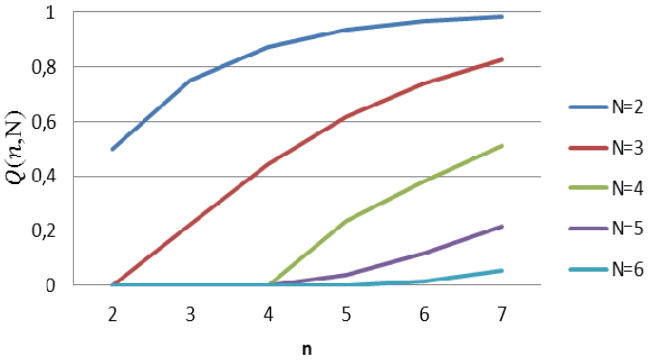


Рис. 6. Значення умовного закону вразливості при зміні кількості СЕ СЗІ в КМЗ і кількості ДФ

В цьому випадку при $n < N$ функція $Q(n) = 0$, оскільки для втрати працездатності СЗІ в КМЗ необхідно, щоб усі її СЕ були непрацездатні. При $n > N$ необхідно, щоб кожен СЕ попав в область впливу ДФ хоча б 1 раз. Кількість таких подій дорівнює кількості перестановок в n розрядах елементів N типів.

За результатами із рис. 6 видно, що при великій кількості резервних СЕ вразливість СЗІ в КМЗ є низькою навіть при надвеликій кількості впливу ДФ. Якщо кількість впливів ДФ дорівнює кількості СЕ, тоді вразливість СЗІ в КМЗ знижується відповідно до збільшення надлишковості досить помітно: більше ніж на порядок при збільшенні N від 2 до 5. Виживаність СЗІ в КМЗ не є дуже низькою, навіть якщо кількість впливів ДФ вдвічі перевищує кількість СЕ: 0.125 при $N = 2$ і 0.26 при $N = 3$. В окремому випадку, $\overline{\omega} = 3$ при $N = 2$, $\overline{\omega} = 5.5$ при $N = 3$. Середній запас живучості, відповідно, 2 і 4.5. Це суттєво більше, ніж m-живучість (в 2 і 2.25 рази).

Оцінка живучості за результатами виконання завдання. Для СЗІ в КМЗ з містковою структурою (рис. 1) результати оцінки живучості за результатами виконання завдання наведено на рис. 7. В цьому випадку можна зробити висновок, що показники живучості у всіх випадках менші, ніж показники безвідмовності. Необхідно зазначити і таку важливу властивість, що із збільшенням ймовірності виникнення відмов СЕ СЗІ в КМЗ q функція виживаності $G(t,n)$ зменшується, тобто відношення $G(t,n,q)/G(t,n,0) < 1$ при всіх значеннях q та n, тобто малонадійна СЗІ в КМЗ більш вразлива при впливі ДФ, ніж високонадійна (рис. 8).

Причому, із збільшенням q функція виживаності зменшується швидше, ніж спадає ймовірність виконання завдання. Звідси можна також зробити висновок, що при одних і тих самих вимогах до властивості живучості і безвідмовності для забезпечення живучості вимагається більш високий рівень надлишковості.

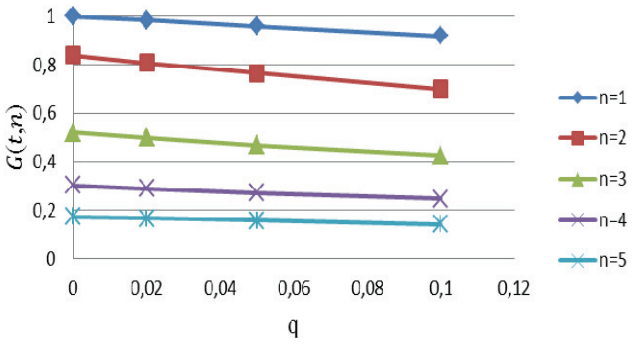


Рис. 7. Результати оцінки живучості СЗІ в КМЗ із містковою структурою за результатами виконання завдання

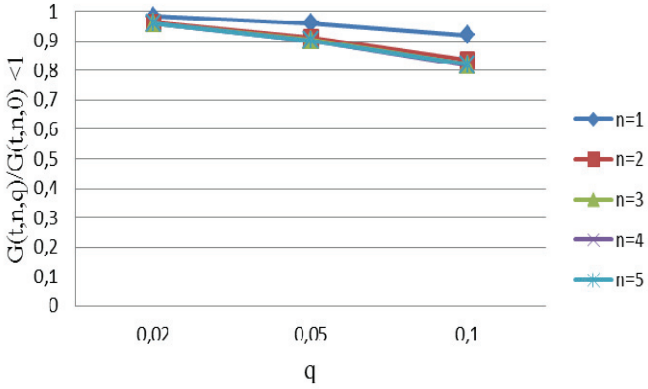


Рис. 8. Залежність функції виживаності СЗІ в КМЗ від ймовірності виникнення відмов СЕ

Для СЗІ в КМЗ з послідовно-паралельною структурою (рис. 3) результати оцінки живучості за результатами виконання завдання наведено на рис. 9.

Порівнюючи дані на рис. 8 і 10, бачимо, що у СЗІ в КМЗ, яка розглядається зниження живучості з погіршенням безвідмовності СЕ ще більш помітна, ніж у СЗІ в КМЗ з містковою структурою.

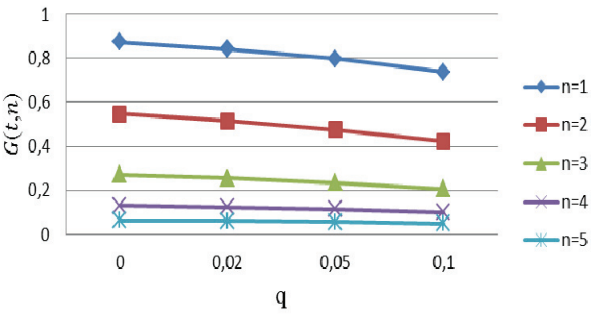


Рис. 9. Результати оцінки живучості СЗІ в КМЗ з послідовно-паралельною структурою за результатами виконання завдання

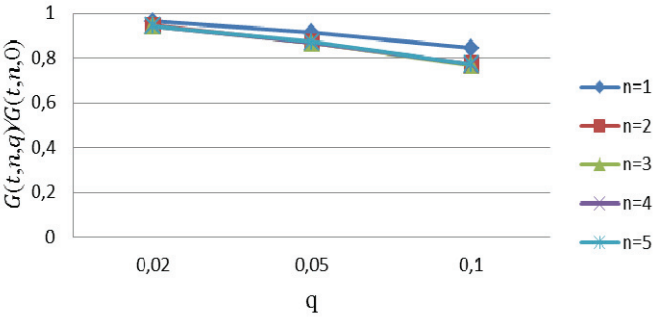


Рис. 10. Відносне зниження функції виживаності із зростанням ймовірності виникнення відмов СЕ СЗІ в КМЗ

Потокова модель оцінки живучості. Аналізуючи СЗІ в КМЗ, яка задана графом з великою кількістю вершин (що зумовлює актуальність та доцільність застосування саме потокової моделі оцінки живучості) так, щоб із вершини, яка обрана випадковим чином можна було встановити зв'язок після атаки зловмисника (впливу ДФ) з 90% ($\beta = 0.9$) неуражених вершин, вважаючи, що ребра графа невразливі, а вершини піддаються знищенню. Щільність атак складає 100 атак/хв. Ймовірність ураження конкретної вершини $\Delta/D = 0.05/1 = 0.05$, $k_s = 1$.

$$\beta = 1 - \exp\left\{-d\sum_{k=0}^{k_s-1}\frac{5^k}{k!}e^{-5\beta}\right\};\ d\sum_{k=0}^{k_s-1}\frac{5^k}{k!} \geq e^5\,\frac{-\ln 0.1}{0.9} = 380.$$

Таким чином, граф, що містить 380 вершин може витримати одну атаку, після якої можна встановити зв'язок з 90% вершинами, які залишилися після атаки. Обчислимо кількість вершин, що залишилися:

$$\sum_{k=0}^{k_s-1} g_k^l(\eta) = e^{-0.05}\,\frac{0.05\cdot 100}{1} = 0.034\,.$$

Таким чином, від початкових 380 вершин залишиться лише 3% – 12 вершин. Загальний потік знизиться більше ніж в 30 разів, система захисту інформації стане недопустимою, тобто СЗІ в КМЗ буде знищена.

Висновки

Отримала подальший розвиток математична модель оцінки живучості СЗІ в КМЗ за станом системи, що дає можливість оцінити виживаність системи при n-кратному впливі ДФ та використовувати точкову, статичну модель системи без врахування стійкості СЕ і вторинних наслідків після впливу ДФ. Результати дослідження математичної моделі показали що при великій кількості резервних СЕ вразливість СЗІ в КМЗ є низькою навіть при надвеликій кількості впливів ДФ.

Отримала подальший розвиток математична модель оцінки живучості СЗІ в КМЗ за результатами виконання завдання, що дає можливість виявити усі працездатні структури системи після n-кратного впливу ДФ, а також використовувати точкову, статичну модель системи без врахування стійкості елементів і вторинних наслідків після впливу ДФ. Дослідження математичної моделі показало, що в СЗІ в КМЗ зниження властивості живучості з погіршенням безвідмовності елементів є більшим, ніж в системі з містковою структурою.

Отримала подальший розвиток математична модель потокової оцінки живучості СЗІ, яку доцільно використовувати для розподілених КМЗ, що вирішує проблему перерозподілу потоків після впливу ДФ. Дослідження моделі потокової оцінки живучості дозволило визначити можливість (кількісно) встановлення зв'язку між СЕ СЗІ в КМЗ при однократному впливі ДФ, а також визначити кількість СЕ, які залишаться після впливу ДФ.

Список літератури

1. *Дудикевич В. Б.* Системи захисту інформації, що мають властивість живучості. Основні поняття / В. Б. Дудикевич, Ю. Р. Гарасим // Науково-технічний журнал «Сучасний захист інформації», спеціальний випуск. – 2010. – № 4. – С. 6-13.

2. *Дудикевич В. Б.* Стійкість та живучість систем захисту інформації в корпоративних мережах зв'язку / В. Б. Дудикевич, Ю. Р. Гарасим // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». – Вінниця, 2010. – С. 193-194.

3. *Dudykevych V*. Survivable security Systems Analysis / V. Dudykevych, I. Garasym // Computer science and information technologies: Materials of the VIth International scientific and technical conference CSIT 2010. – Lviv : Publishing House Vezha&Co, 2010. – pp. 108-110.

4. *Гарасим Ю. Р*. Метод вибору варіанту системи захисту інформації за критерієм живучості в умовах невизначеності впливу дестабілізуючих факторів / Ю. Р. Гарасим // Збірник тез міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні та прикладні аспекти кібернетики». – Київ, 2011. – С. 74-76.

5. *Гарасим Ю*. Розробка моделі оцінки живучості для систем захисту інформації / Ю. Гарасим // Комп'ютерні науки та інженерія: Матеріали IV Міжнародної конференції молодих вчених CSE-2010. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. – С. 320-321.

6. *Garasym I*. Information security system survivability assessment method based on logical-probabilistic models / I. Garasym // Proceedings of the XIth International Conference CADSM 2011. – Polyana, Svalyava (Zakarpattya), Ukraine, 2011. – pp. 160-161.

7. *Дудикевич В. Б.* Моделі оцінки живучості систем захисту інформації / В. Б. Дудикевич, Ю. Р. Гарасим // «Обчислювальні методи і системи перетворення інформації»: зб. праць наук. техн. конф., Львів, 7-8 жовтня 2010 р. – Львів : ФМІ НАНУ, 2010. – С. 104-107.

УДК 003.26:004.056.55

С.О. Гнатюк, асистент, Ю.Є. Хохлачова, асистент
(Національний авіаційний університет, Україна)

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ КРИПТОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

У даній роботі наведено базові критерії оцінки стійкості криптографічних систем захисту інформації з точки зору обчислювальних та інших можливостей атакуючої сторони. Розглядаються основні варіанти вирішення актуальної задачі розподілу ключів, також аналізуються основні відомі криптоаналітичні атаки з метою формулювання практичних рекомендацій щодо підвищення рівня криптографічної стійкості.

Питання оцінки стійкості криптографічних систем захисту інформації (СЗІ) є досить актуальним у наш час, коли існує багато криптоалгоритмів [1, 2] і постає задача їх вибору для побудови ефективних СЗІ і підвищення загального рівня конфіденційності. Таким чином, **метою** роботи є якісний аналіз критеріїв стійкості криптографічних СЗІ та інших актуальних проблем сучасної криптографії.

Доказ існування *абсолютно* стійких алгоритмів шифрування (АШ) був виконаний Клодом Шеноном та опублікований в праці [2]. Там же визначені вимоги до систем такого роду: ключ генерується для кожного повідомлення (кожен ключ використовується один раз); ключ статистично надійний (тобто ймовірності появи кожного з можливих символів рівні, а символи в ключовій послідовності незалежні та випадкові); довжина ключа дорівнює або більша за довжину повідомлення; вихідний (відкритий) текст (ВТ) володіє деякою надмірністю (є критерієм оцінки правильності розшифрування). Стійкість цих СЗІ не залежить від того, якими обчислювальними можливостями володіє атакуюча сторона (криптоаналітик, Єва). Практичне застосування СЗІ, що задовольняють вимогам абсолютної стійкості, обмежено міркуваннями вартості і зручності користування. Деякими аналітиками стверджується, що шифр Вернама є одночасно абсолютно криптографічно стійким і, до того ж, єдиним шифром, який задовольняє цій умові.

В основному застосовуються *практично* стійкі або *обчислювально* стійкі СЗІ. Стійкість цих систем залежить від того, якими обчислювальними можливостями володіє Єва. Практична стійкість таких систем базується на теорії складності і оцінюється виключно на якийсь певний момент часу і послідовно з двох позицій: обчислювальна складність повного перебору [1]; відомі на даний момент уразливості та їх вплив на обчислювальну складність. У кожному конкретному випадку можуть також існувати додаткові *критерії оцінки стійкості*. Базовими завданнями сьогоднішнього дня, які вирішуються криптопротоколами в мережах передачі даних, є аутентифікація, ідентифікація та ключовий обмін (розподіл ключів шифрування).

Існує також цілий ряд криптопротоколів, призначених для вирішення специфічних завдань. Слід мати на увазі, що один і той же криптопротокол може застосовуватися у різних областях. Наприклад, криптопротокол Kerberos [1] в ході своєї роботи дозволяє провести аутентифікацію користувачів і здійснити ключовий обмін між учасниками. Як приклад можна навести досить простий криптопротокол ключового обміну. Його учасники, Аліса та Боб, хочуть виробити загальний секретний ключ для симетричного АШ, використовуючи відкриті канали передачі даних. Для цього вони використовують наступну послідовність дій: 1) Боб вибирає схему асиметричного шифрування, створює пару ключів для даної схеми – відкритий і секретний; 2) Боб посилає свій відкритий ключ Алісі; 3) Аліса створює секретний ключ для симетричного АШ; зашифровує його на відкритому ключі Боба і відсилає йому отриманий результат; 4) Боб, отримавши зашифрований секретний ключ від Аліси, розшифровує його своїм секретним ключем для асиметричного АШ. Тепер Аліса та Боб, використовуючи симетричний АШ, можуть обмінюватися зашифрованою інформацією у відкритих каналах

зв'язку. Зазначений протокол не є безпечним, але вдало відображає саму ідею побудови подібних СЗІ.

Що стосується *розподілу ключів шифрування* між законними користувачами в умовах суворої секретності, то це є однією з найважливіших проблем сучасної криптографії, яка може бути вирішена за допомогою [3]:

- класичної криптографічної схеми з теоретико-інформаційної стійкістю (для її реалізації необхідний канал з перешкодами; ефективність схеми вкрай низька – 1-5%);
- класичної криптографічної схеми з відкритим ключем (схема Діфі-Хелмана [1], схема цифрового конверту; має обчислювальну стійкість);
- класичної симетричної криптографічної схеми з обчислювальною стійкістю (потребує наявності у абонентів попередньо встановленого ключа, тобто може розглядатися тільки як схема для збільшення довжини ключа, а не для його розподілення);
- квантового розподілу ключів (забезпечує теоретико-інформаційну стійкість, але потребує наявності у абонентів попередньо встановленого ключа для аутентифікації класичного каналу, тобто теж може розглядатися як схема для збільшення довжини ключа);
- методу довірених кур'єрів (висока вартість, велика залежність від людського чинника).

Управління ключами складається з наступних процедур: ініціалізація ключової структури для користувачів в домені; створення, розподіл і інсталяція ключового матеріалу; контроль над використанням ключового матеріалу; оновлення, відновлення та знищення ключового матеріалу; зберігання ключового матеріалу.

Основною метою управління ключами є підтримка ключових взаємин і ключового матеріалу таким чином, щоб не сталося: компрометації таємних ключів; компрометації системи аутентифікації секретної ключової інформації або відкритих ключів; неавторизованого використання секретних або відкритих ключів (наприклад, необхідно забезпечувати неможливість використання ключів, термін дії яких закінчився).

Для кожного відкритого повідомлення існує апріорна ймовірність вибору, оскільки механізм вибору відкритих повідомлень можна представити як деякий ймовірнісний процес. Аналогічно, вибір кожного ключа також має апріорну ймовірність. Супротивник, який перехоплює зашифровані повідомлення, може обчислити апостеріорні ймовірності як появи відкритого повідомлення, так і ймовірність появи ключа. Набір апостеріорних ймовірностей являє собою систему відомостей, що належать супротивнику, про ключі, які використовуються та відкриті повідомлення, які передаються. Причому, перед початком перехоплення зашифрованих повідомлень супротивник має у своєму розпорядженні деякий набір апріорних ймовірностей про відкриті повідомлення і ключі. З практичної точки зору це означає, що супротивник обізнаний про систему засекреченого зв'язку, що використовується.

Припустимо, що супротивнику відомі всі криптографічні перетворення, що використовуються в системі засекреченого зв'язку, а також ключовий простір, причому, як було сказано вище, секретність системи залежить від вибору конкретного ключа. У результаті перехоплення деякого обсягу зашифрованих повідомлень та обчислення апостеріорних ймовірностей супротивник зрозуміє, що їм буде відповідати єдине рішення про використання ключа або передачу відкритого повідомлення (точка єдності прийняття рішення), яке задовольняє даним ймовірностям. Зрозуміло, що подібний висновок цілком може привести до розкриття системи супротивником. Під *розкриттям системи засекреченого зв'язку або АШ* ми розуміємо одну з наступних операцій, що планує супротивник і які направлені на досягнення цієї мети: *повне розкриття* – супротивник знаходить шляхом обчислень секретний ключ системи; *знаходження еквівалентного алгоритму* – супротивник знаходить алгоритм, функціонально еквівалентний АШ, не маючи при цьому уяви про секретний ключ, що використовується; *знаходження відкритого повідомлення* – супротивник знаходить відкрите повідомлення, яке відповідає одному з перехоплених зашифрованих; *часткове розкриття* – супротивник отримує часткову інформацію про ключ, що використовується, або про відкрите повідомлення.

Розглянемо найпоширеніші на сьогоднішній день *причини здійснення успішних атак* на АШ: 1) наявність статистичної структури історично сформованих мов. Тобто, існують певні символи або комбінації символів, що найбільш часто зустрічаються в природній мові. Таким чином, при перехопленні зашифрованого повідомлення для деяких типів АШ можливо підрахувати частоту появи певних символів та зіставити їх з ймовірностями появи певних символів або їх комбінацій (біграми, триграми і т.д.), що в деяких випадках може привести до однозначного дешифрування окремих ділянок зашифрованого повідомлення; 2) наявність ймовірних слів. Мова йде про слова або вирази, появу яких можливо очікувати в перехопленому повідомленні. Таким чином, у діловому листуванні присутні шаблонні слова; в англійській мові, наприклад, найчастіше зустрічаються "and", "the", "are" і т.д.

Існує достатньо розповсюджений підхід до формальної оцінки цього поняття. Стійкість криптографічного алгоритму необхідно розглядати відносно пари "атака-мета", де під метою супротивника розуміють заплановану загрозу.

У роботах [4, 5] запропонована наступна узагальнена класифікація атак на криптографічні СЗІ, де кожна атака представлена математичною моделлю, що значно спрощує сприйняття та розуміння.

Атака на основі тільки шифротексту (ШТ) (*cipher text attack*) полягає у тому, що Єва володіє ШТ ($N_1, N_2,\ldots, N_i$) декількох ВТ ($P_1, P_2,\ldots, P_i$), зашифрованих одним АШ. Єва розкриває якомога більшу кількість ШТ або ключів шифрування з метою розкриття інших ШТ, зашифрованих тим самим ключем (k). Тобто, маючи $N_1=E_k(P_1)$, $N_2=E_k(P_2),\ldots, N_i=E_k(P_i)$ можна визначити ($P_1, P_2,\ldots, P_i$) та k або алгоритм відновлення P_{i+1} із $N_{i+1}=E_k(P_{i+1})$.

Атака на основі ВТ (*plaintext attack*) реалізується таким чином, що Єва, володіючи ШТ ($N_1, N_2,\ldots, N_i$) і їх ВТ ($P_1, P_2,\ldots, P_i$), розкриває k з метою подальшого розшифрування інших ШТ, зашифрованих тим же ключем (ключами). Іншими словами, маючи $P_1, N_1=E_k(P_1), P_2, N_2=E_k(P_2),\ldots, P_i, N_i=E_k(P_i)$, можна визначити k або алгоритм відновлення P_{i+1} із $N_{i+1}=N_k(P_{i+1})$.

Атака на основі підібраного ВТ передбачає наявність у Єви шифрованих ($N_1, N_2,\ldots, N_i$) і ВТ ($P_1, P_2,\ldots, P_i$) декількох повідомлень, а також можливість підібрати ВТ для шифрування. Це надає більше можливостей, ніж розкриття на основі ВТ, оскільки Єва здійснює вибір блоків ВТ, що підлягають шифруванню і це може дати більше інформації про k. Таким чином, Єва отримує ключ чи АШ, що дозволяє розкрити нові повідомлення, зашифровані тим же ключем, тобто, маючи, $P_1, N_1=E_k(P_1), P_2, N_2=E_k(P_2),\ldots, P_i, N_i=E_k(P_i)$ та можливість вибрати ($P_1, P_2,..., P_i$), Єва визначає k або алгоритм знаходження P_{i+1} із $N_{i+1}=E_k(P_{i+1})$.

Атака на основі адаптивно підібраного ВТ передбачає можливість Єви вибирати ВТ ($P_1, P_2,\ldots, P_i$), що підлягає шифруванню, а також уточнювати наступний вибір на базі раніше отриманих результатів шифрування. При розкритті з використанням підібраного ВТ Єва бере для шифрування лише один великий блок ВТ, а при адаптивному вибирається менший блок, і потім наступний, використовуючи результати першого вибору і т.д.

Атака з використанням підібраного ШТ полягає у тому, що Єва для розкриття може вибирати різні ШТ ($N_1, N_2,\ldots, N_i$) і має доступ до розшифрованих ВТ. Наприклад, маючи "чорний ящик", що реалізує автоматичне розшифрування, необхідно одержати ключ. Іншими словами, маючи $N_1P_1=D_k(N_1), N_2P_2=D_k(N_2),\ldots, N_iP_i=D_k(N_i)$, Єва визначає k. Така атака зазвичай застосовується до систем з відкритим ключем, але іноді буває ефективною і для симетричних АШ. Часто в літературі атаку на основі підібраного ВТ і атаку з використанням підібраного ШТ разом називають *атакою на основі підібраного тексту*.

Атака на основі підібраного ключа реалізується таким чином, що Єва має деяку інформацію про зв'язок між різними ключами. Даний тип криптоаналітичних атак часто буває дуже практичним і відрізняється від всіх раніше розглянутих. Єва вибирає зв’язок між парою невідомих ключів, за допомогою яких зашифровані дані. У варіанті з відомим ВТ є відкритий і шифрований двома ключами текст, а у варіанті з підібраним – Єва вибирає ВТ для шифрування двома ключами.

Атака методом повного перебору всіх можливих ключів передбачає використання Євою відомого ШТ і реалізується шляхом тотального перебору усіх можливих ключів з одночасною перевіркою змістовності отриманого ВТ. Для реалізації такої атаки Єві необхідно застосувати надпотужні обчислювальні ресурси (зважаючи на довжину ключів у сучасних стійких АШ), через це іноді така атака носить назву *силової* (*лобової*) *атаки* (*brute force attack*). Останнім часом, зважаючи на стрімкий розвиток обчислювальних мереж, ефективність використання даного типу атак значно зросла, тобто Єва може об'єднати свої зусилля з іншими зловмисниками шляхом розпаралелювання певних операцій.

Атака на основі апаратних помилок реалізується шляхом очікування або цілеспрямованої генерації Євою апаратних помилок в регістрах даних пристрою шифрування (системи, модуля). Завдяки такій атаці, Єва може з певною ймовірністю отримати фрагмент ключа шифрування, а з використанням додаткового програмного забезпечення розмір цього фрагменту може бути суттєво збільшений. Іноді даний тип атак називають *атаками аналізу збоїв*.

Крім того, виділяють цілий клас *атак за допомогою побічних каналів* (*side-channel analysis attack*), тобто таких атак, за допомогою яких, на відміну від розглянутих вище, Єва намагається отримати інформацію про ключ чи ВТ не на основі теоретичного опису криптографічного АШ, а на основі даних, отриманих в результаті спостереження за фізичним процесом роботи пристрою шифрування. До даного класу атак відносять атаки *по часу, по енергоспоживанню, по електромагнітному випромінюванню, по світловому випромінюванню, акустичні атаки. Кореляційна атака (correlation attack)* основана на виявленні Євою статистичної залежності між елементами вхідної (P_1, P_2,…, P_i) і вихідної (N_1, N_2,…, N_i) послідовностей шифратора.

Бандитська криптоаналітична атака полягає у тому, що Єва загрожує, використовує тортури чи шантажує Алісу й Боба поки не отримає ключ шифрування. Досить вагомим і поширеним явищем є використання Євою хабарництва – *атака з "купленим ключем"* (*key purchase attack*). Варто також відмітити, що коли реалізуються атаки, які використовують "людський чинник", то виявляються безсилими і найстійкіші криптографічні шифри, і навіть СЗІ з безумовною стійкістю.

Висновки

Аналізуючи атаки та їх цілі, можна прийти до висновку, що найбільшу стійкість криптографічна СЗІ має в тому випадку, коли вона здатна протистояти найсильнішій атаці, яку проводить супротивник, за умови, що він переслідує найслабшу (найуразливішу) з можливих цілей атаки (загрози). Таким чином, у даній роботі наведено критерії оцінки стійкості криптографічних СЗІ, проаналізовано шляхи вирішення проблеми розподілу ключів шифрування та найпоширеніші криптоаналітичні атаки. У подальшому, на базі даного дослідження, планується формулювання практичних рекомендацій щодо підвищення криптостійкості СЗІ.

Список літератури

1. Мао В. Современная криптография : Теория и практика / Венбо Мао. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. — 768 с.

2. Shannon C. Communication Theory of Secrecy Systems, Bell Systems Technical Journal, 1949. — Vol. 28. — P. 656–715.

3. Корченко О.Г. Сучасні квантові технології захисту інформації / О.Г. Корченко, Є.В. Васіліу, С.О. Гнатюк // Захист інформації. — 2010. — № 1. — С. 77–89.

4. Юдін О.К. Захист інформації в мережах передачі даних : Підручник / О.К. Юдін, О.Г. Корченко, Г.Ф. Конахович. — К. : Видавництво «DIRECTLINE», 2009. — 714 с.

5. Атаки в квантових системах захисту інформації / О.Г. Корченко, Є.В. Васіліу, С.О. Гнатюк, В.М. Кінзерявий // Вісник інженерної академії України. — 2010. — № 2. — С. 109–115.

УДК 003.26:004.056.55:621.39

С.О. Гнатюк, асистент, С.О. Демченко, здобувач, В.М. Кінзерявий, асистент
(Національний авіаційний університет, Україна)

БАЗОВІ ОЗНАКИ КЛАСИФІКАЦІЇ КІБЕРАТАК НА КВАНТОВІ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

У даній роботі запропоновані базові ознаки класифікації кібератак на квантові системи розподілу ключів та прямого безпечного зв'язку. Отримані результати дозволяють формалізувати напрямки подальших досліджень щодо розробки більш ефективних квантових систем захисту інформації.

Вступ. На даний момент з усіх існуючих квантових технологій захисту інформації (ЗІ) [1] лише системи на основі квантового розподілу ключів (КРК) є реалізованими практично, як окремі модулі та компоненти, інтегровані в існуючі інформаційно-комунікаційні системи (ІКС). Фундаментальні закони квантової механіки [1, 6] з одного боку забезпечують виявлення атаки пасивного перехоплення, а з іншого – допускають можливість реалізації різного роду атак у квантових системах захисту інформації (КСЗІ). Зважаючи на те, що у квантовому каналі неможливо відрізнити природні завади від тих, що створюються зловмисниками при спробі підслуховування, необхідно передбачити цей факт при проектуванні превентивних систем.

Аналіз існуючих досліджень. У роботі [2] проведено якісний аналіз атак у кіберпросторі (cyber space), а праця [6] містить розширену класифікацію кібератак (cyber attack) за ознаковим принципом. Крім того, у роботі [3] наведена класифікація атак на канали КРК: виділено два класи таких атак – це атаки на кубіти та атаки, що використовують неідеальність компонентів системи. Класифікація атак на КРК за критерієм складності необхідного для проведення атаки обладнання наведена у [4, 6]. Така узагальнена базова класифікація на даний момент відсутня у науковій літературі, як і класифікація атак на інші КСЗІ, крім КРК (зокрема на системи квантового прямого безпечного зв'язку (КПБЗ)). *Метою* даної роботи є розробка класифікації кібератак на квантові системи захисту інформації за ознаковим принципом. Реалізація поставленої мети дозволить формалізувати напрямки подальших досліджень щодо розробки та побудови ефективних систем ЗІ на основі квантових технологій.

На рис. 1 наведена узагальнена класифікація кібератак на КСЗІ.

Класифікація атак за ступенем складності. На основі [1, 3, 4] можна ввести наступне визначення – *атаками у КСЗІ* називаються заходи, які застосовуються для підриву безпеки даних систем чи реалізації загроз базовим характеристикам безпеки систем квантової криптографії (КК) шляхом використання їх уразливостей. При використанні легітимними користувачами *ідеальних однофотонних джерел*, атаки в системах КК можна умовно поділити на *когерентні* та *некогерентні*. У свою чергу, некогерентні (індивідуальні) атаки [4, 6] бувають *непрозорими* (*opaque attacks*) та *напівпрозорими* (*semi-translucent attacks*). Непрозорі атаки (їх також називають *атаками "перехоплення – повторної посилки кубітів", intercept-resend attack* [6]) полягають у вимірюванні зловмисником (Євою) безпосередньо квантового стану носія (фотона) і подальшій повторній посилці нового фотона у стані, який отримано в результаті вимірювання. Оскільки зловмисник генерує нові квантові стани і відправляє їх приймаючій стороні (Бобові), то даний клас атак називається непрозорим. Напівпрозорі атаки [4, 6] передбачають використання Євою допоміжних квантових систем (квантових проб – КП) для переплутування (entanglement) їх з носіями, які Аліса пересилає Бобу через квантовий канал. Після взаємодії, передавані та допоміжні стани знаходяться у загальному переплутаному стані, потім перші передаються Бобові, а другі зберігаються у квантовій пам'яті у Єви. Після закінчення відкритого обміну інформацією між Алісою та Бобом на етапі просіювання ключа, зокрема об'явлення базисів, в яких Боб вимірював фотони Аліси, Єва визначає

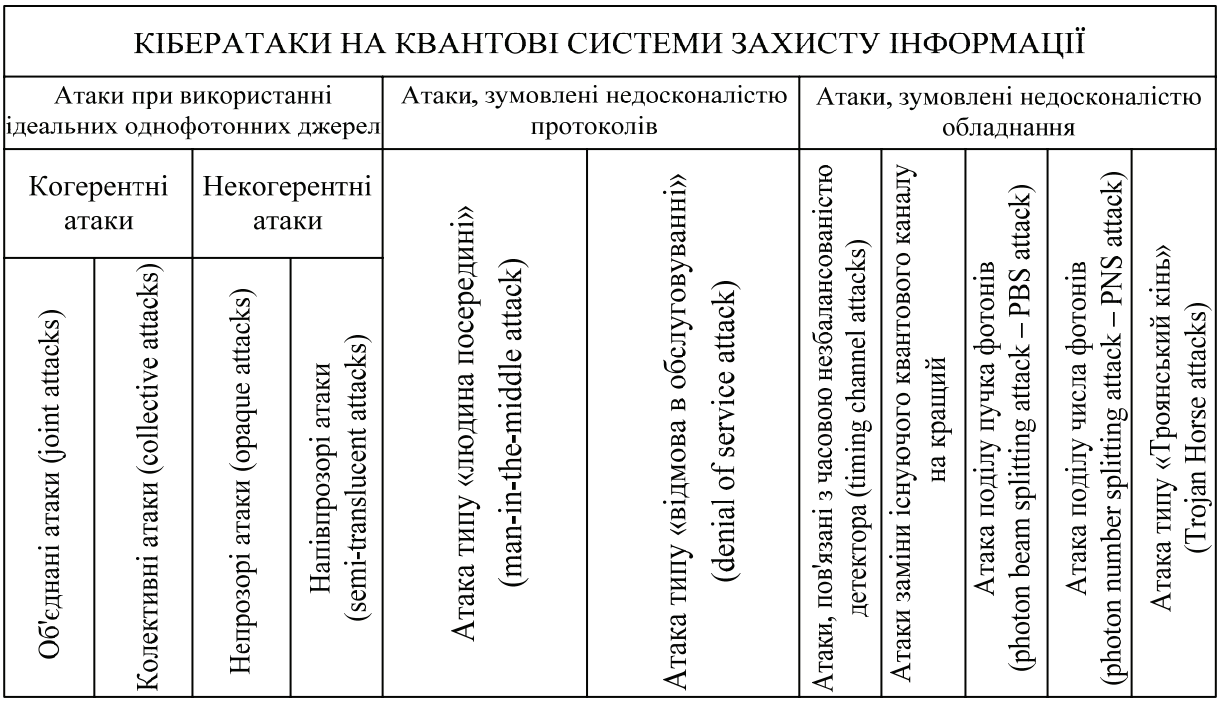


Рис.1. Узагальнена класифікація кібератак на КСЗІ

послідовність базисів, яку необхідно використати для вимірювання станів її проб, щоб отримати якомога більше інформації про ключ. Стани фотонів Аліси змінюються після переплутування з пробами Єви, проте рівень помилок при даній атаці значно нижчий, ніж при непрозорій атаці. Варто відмітити, що для реалізації подібної атаки Єві необхідно мати квантову пам'ять (quantum memory) великого обсягу для зберігання проб до об’явлення базисів Бобом, та складне обладнання для переплутування проб з фотонами Аліси.

При когерентних атаках [4, 6] Єва може будь-яким (унітарним) способом переплутати пробу будь-якого розміру з групою передаваних фотонів. Одним із підвидів даного класу атак є *колективна атака* (*collective attack*). Дана атака схожа з напівпрозорою в начальній стадії, тобто кожній фотон Аліси індивідуально переплутується з окремою пробою. Отже, Єва отримує проби в таких же станах, як і при напівпрозорій атаці. Але після закінчення відкритого обміну інформацією між Алісою та Бобом, Єва виконує вимірювання відразу на всіх КП, як на єдиній квантовій системі. Найефективнішою є *об’єднана атака* (*joint attack*) – це окремий випадок когерентної атаки, при якій Єва використовує єдину КП (з гільбертового простору станів більшої розмірності) для переплутування з усією послідовністю фотонів, що Аліса передає Бобові. Але ця атака є також і найбільш складною з технічної точки зору.

Атаки, зумовлені недосконалістю протоколів. Для атаки "людина посередині" Єва має повністю контролювати класичний канал зв’язку між Алісою та Бобом, тобто мати можливість замінювати усі повідомлення, що передаються класичним каналом.

Що стосується атаки "відмова в обслуговуванні", то суть її полягає у тому, що Єва не переплутує свою пробу з кубітом на шляху від Боба до Аліси, а просто вимірює стан кубіта на зворотному шляху від Аліси до Боба (в режимі передачі повідомлення) – цим самим порушуючи взаємну кореляцію (mutual correlation) кубітів Аліси та Боба. У результаті Єва не отримає ніякої корисної інформації, проте зруйнує квантовий канал між Алісою та Бобом. У випадку ГХЦ-триплетів Єва може також вимірювати стани одного чи двох кубітів і порушувати таким чином переплутаність стану триплету [6]. Відзначимо, що до атаки "відмова в обслуговуванні" також вразливі практично всі протоколи КК.

Атаки, зумовлені недосконалістю обладнання

Атаки типу "Троянський кінь" (*Trojan Horse attack*). До атак даного типу уразливі так звані двосторонні (two-way) протоколи КРК та КПБЗ, тобто протоколи, в яких фотони пересилаються від Боба до Аліси та назад від Аліси до Боба. Єва посилає світлові імпульси у квантовий канал, що з’єднує апаратуру Аліси та Боба, і потім аналізує відбите світло. Таким спосо-

бом у принципі можливо виявити, який лазер або який датчик тільки що спрацював, або параметри настроювання модуляторів поляризації й фази. Така атака не може бути просто відвернена використанням засувки, тому що Аліса та Боб повинні залишити "двері відкритими" для своїх фотонів. Але Аліса й Боб могли б виявити додаткові фотони Єви, так як при такій атаці відбувається збільшення енергії імпульсів. Тому Єва повинна використовувати світло іншої довжини хвилі, ніж використовують Аліса та Боб, а саме такої довжини хвилі, до якої датчики Аліси й Боба є нечутливими. Інший спосіб для Єви приховати атаку полягає в тому, що вона перехоплює сигнал, переданий від Боба до Аліси, і потім вставляє додатковий фотон у сигнал з часом затримки, коротшим ніж часове вікно датчика. Таким чином, Аліса не може виявити цей додатковий фотон, оскільки він не спричинює спрацювання її датчика. Після кодувальної операції, яку виконує Аліса, Єва перехоплює сигнал знову й відокремлює додатковий фотон. Вона може одержати повну інформацію про кодувальну операцію Аліси, виконавши відповідне вимірювання. Такий варіант атаки отримав назву *атаки "троянського коня з затримкою фотона"*. На практиці Аліса й Боб повинні експлуатувати фільтр довжини хвилі для фільтрування фонового світла, особливо коли у якості квантового каналу використовується вільний простір (бездротовий оптичний канал). Для атаки "троянського коня з затримкою фотона" Аліса повинна використовувати світлодільник 50/50, щоб розділити кожний сигнал на дві частини й провести вимірювання їх станів у двох вимірювальних базисах [6].

Атака поділу числа фотонів (*photon number splitting attack – PNS attack*). На практиці в системах КРК використовують слабкі когерентні імпульси, випромінювані лазерними світлодіодами [6]. Число фотонів в імпульсі визначається розподілом Пуассона, тобто частина переданих імпульсів містить два й більше фотони. Для проведення такої атаки для кожного імпульсу, що посилається Алісою, Єва повинна виконати квантове неруйнуюче вимірювання числа фотонів в імпульсі, не впливаючи при цьому на їхню поляризацію. Відзначимо, що таке вимірювання дуже складно виконати, але на теперішній час це технічно можливо [5]. Якщо Єва виявляє в імпульсі більше одного фотона, вона відводить один, дозволяючи іншим безперешкодно пройти до Боба. Потім Єва виконує переплутування перехопленого фотона зі своєї пробою і очікує, коли після завершення передавання легітимні сторони оголосять використані базиси. Виконуючи потім вимірювання стану проби, Єва одержує точне значення переданого біта, не вносячи при цьому ніяких помилок у просіяний ключ, тобто атака Єви залишається невиявленою. Якщо ж імпульс несе один фотон, то стратегії Єви можуть бути різними. Наприклад, вона може просто пропускати всі ОФІ, що дозволить їй залишитися невиявленою. Однак при малому середньому числі фотонів в імпульсі (на практиці обладнання настроюють так, щоб це число було порядку 0,1) кількість багатофотонних імпульсів (БФІ) буде невеликою, і це не дозволить Єві одержати будь-яку суттєву інформацію про ключ. Інша стратегія полягає у тому, що Єва виконує некогерентну атаку на ОФІ. У цьому випадку, зрозуміло, вона вносить помилки в просіяний ключ, кількість яких буде залежати як від типу атаки, так і від частки ОФІ при передачі ключа.

Ще одна стратегія Єви полягає у блокуванні частини ОФІ – у результаті Боб одержує порожній імпульс, тобто його датчик не реєструє фотон. Таким блокуванням частки ОФІ Єва збільшує частку БФІ, що дозволяє їй збільшити інформацію про ключ при тому ж рівні внесених у просіяний ключ помилок. Оскільки чутливість сучасних датчиків, які використовуються в комерційних системах КРК, невелика, і вони реєструють в середньому лише 20–30% одиночних фотонів, а крім цього також відбуваються втрати фотонів в каналі, то Єва теоретично може таким чином приховати свою атаку. Але Боб, знаючи ймовірність одержати порожній імпульс при наявному обладнанні, може виявити значне перевищення кількості порожніх імпульсів над очікуваним. Відзначимо, що Боб може також не тільки визначати кількість порожніх імпульсів, але й контролювати всю статистику одержуваних ним сигналів, виконуючи неруйнуюче вимірювання числа фотонів у імпульсі. У цьому випадку Єва змушена буде відводити фотон тільки у невеликої частини БФІ, а інші пропускати, не одержуючи ніякої інформації. Для захисту від подібної атаки необхідно використовувати протокол SARG04 та протоколи зі станами приманки (decoy states protocols) [1].

Атака поділу пучка фотонів (*photon beam splitting attack – PBS attack*). Процеси вимірювання числа фотонів в імпульсі та відведення одного фотона знаходяться поки що на межі можливостей сучасних технологій. Тому в ряді досліджень була запропонована атака, що отримала назву атаки поділу пучка фотонів. Єва контролює друге вихідне плече світлодільника й одержує повне знання бітів просіяного ключа (через відстрочене вимірювання), якщо БФІ розділений таким чином, що Боб та Єва обоє одержують принаймні один фотон сигналу. Один з методів захисту від PBS-атаки, як і від PNS-атаки, – це контролювання Бобом усієї статистики одержуваних сигналів, але для цього необхідно виконувати неруйнуюче вимірювання числа фотонів в імпульсі, що є дуже складним з технологічної точки зору. Тому, більш практичним на теперішній час є використання удосконалених протоколів – SARG04 або протоколів зі станами приманки [6].

Атака заміни існуючого квантового каналу на кращий. У випадку таємної заміни квантового каналу зі втратами між Алісою та Бобом на ідеальний канал без втрат (або на канал зі значно меншими втратами) [5], Єва зможе блокувати певну частину ОФІ, видаючи таки втрати за природні – тобто Боб отримає приблизно таку ж кількість пустих імпульсів, як до заміни каналу. Неважко помітити, що для початкового каналу з великими втратами Єва матиме можливість отримати майже весь ключ і залишиться непоміченою. У будь-якому випадку для захисту від такого типу атаки Аліса та Боб мають використовувати квантовий канал обмеженої довжини так, щоб його коефіцієнт передачі залишався достатньо високим [6].

Атаки з використанням витоку інформації побічними каналами. У роботі [6] розглянута атака, пов'язана з часовою незбалансованістю детектора (*timing channel attack*). Дана атака, на відміну від попередніх, дозволяє Єві отримати значну частину секретного ключа. Технічні методи захисту від цієї атаки на даний час також запропоновані.

Взагалі, теоретичні аспекти безпеки КК є на теперішній час дуже активною областю досліджень, і останнім часом спостерігається зростаючий інтерес до аналізу атак з використанням витоку інформації побічними каналами, що є результатом фізичної реалізації принципів КК в практичних системах.

Висновки. Запропонована в даній роботі базова класифікація кібератак на КСЗІ враховує як атаки на підсистеми КРК так і на підсистеми КПБЗ. Дана класифікація атак дозволяє чітко визначити напрямки подальших досліджень щодо розробки методів та побудови ефективних систем ЗІ, а також створити концептуальні аспекти квантової моделі попередження атак та формалізувати можливості превентивних систем для підвищення ефективності їх вибору і формування вимог при їх проектуванні та розробці.

Список використаної літератури:

1. Korchenko O. Modern quantum technologies of information security against cyber-terrorist attacks / O. Korchenko, Y. Vasiliu, S. Gnatyuk // Aviation. Vilnius: Technika, 2010, Vol. 14, No. 2, p. 58–69.

2. Харченко В.П. Кибертерроризм на авиационном транспорте / В.П. Харченко, Ю.Б. Чеботаренко, А.Г. Корченко, Е.В. Пацира, С.А. Гнатюк // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. праць. – К. : НАУ, 2009. – Вип. 4 (28). – С. 131–140.

3. Розова Я.С. Классификация атак на каналы квантового распределения ключей / Я.С. Розова // Сборник трудов конференции молодых ученых, Выпуск 6. Инф. техн. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – С. 167–172.

4. Василиу Е.В. Стойкость квантовых протоколов распределения ключей типа "приготовление-измерение" / Е.В. Василиу // Georgian Electronic Scientific Journal: Computer Science and Telecommunications. – 2007, No. 2 (13), p. 50–62.

5. Williamson M. Eavesdropping on practical quantum cryptography / M. Williamson,V. Vedral // Journal of Modern Optics. – 2003. – V. 50, issue 13. – P. 1989–2011.

6. Атаки в квантових системах захисту інформації / О.Г. Корченко, Є.В. Васіліу, С.О. Гнатюк, В.М. Кінзерявий // Вісник інженерної академії України. – 2010. – №2. – С.109–115.

УДК 003.26:621.39+530.145

Є.В. Василіу, кандидат фізико-математичних наук, доцент
(Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Україна)

СИНТЕЗ СТРУКТУРИ КВАНТОВОЇ СИСТЕМИ ПРЯМОГО БЕЗПЕЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

В роботі запропоновано загальний підхід до проблеми синтезу структури квантової системи прямого безпечного зв'язку. Детально описані схеми етапів такого синтезу для систем, що ґрунтуються на різних варіантах пінг-понг протоколу. Наведено результати застосування цього підходу до синтезу конкретних систем. Запропоновано стек протоколів, що реалізують безпечну квантову систему прямого передавання повідомлень.

Методи квантової криптографії швидко розвиваються протягом останніх двох десятиріч. На основі цих методів пропонуються нові підходи до побудови захищених систем конфіденційного зв'язку. Робота таких систем, які ґрунтуються на протоколах квантової криптографії, потребує використання не тільки самих цих протоколів, а і додаткових засобів класичної криптографії та кодування інформації для забезпечення високого рівня ефективності всієї системи та її стійкості як до атак зловмисника, так і до природних завад у квантових каналах зв'язку. Так, передавання інформації квантовим каналом є тільки одним з елементів стека протоколів квантового розподілення секретних ключів, інші елементи стека – це процедури виправлення помилок та підсилення секретності, які ґрунтуються на методах як квантової, так і класичної теорії інформації [1]. Відзначимо, що стійкість гібридної системи конфіденційного зв'язку, яка складається з квантової підсистеми розподілення секретних ключів та звичайної системи симетричного шифрування (наприклад, AES), визначається стійкістю останньої, оскільки сучасні квантові протоколи розподілення ключів забезпечують теоретико-інформаційній рівень стійкості при розподіленні ключів. Так, використання шифру Вернама в поєднанні з квантової системою розподілення ключів дозволить забезпечити теоретико-інформаційній рівень стійкості всієї системи конфіденційного зв'язку [2].

Існує інший підхід до побудови систем конфіденційного зв'язку з високим рівнем стійкості, який використовує інший напрямок квантових технологій захисту інформації – квантові протоколи прямого безпечного зв'язку. В таких протоколах повідомлення передається напряму, тобто без попереднього шифрування, що взагалі усуває складну проблему генерування, розподілення та зберігання секретних ключів. Але, системи конфіденційного зв'язку, які ґрунтуються на квантових протоколах прямого безпечного зв'язку, як правило, не можуть бути побудовані тільки на цих протоколах, а потребують додаткових засобів підсилення секретності, завадостійкого кодування тощо [3]. Тому постає проблема синтезу всіх цих елементів в єдину систему безпечного зв'язку, для чого потрібно розв'язати цілий ряд окремих завдань.

Так, першим етапом такого синтезу є розробка нового квантового протоколу (або вдосконалення за якимись параметрами вже запропонованого), тобто розробка схеми квантового кодування інформації та схеми контролю перехоплення інформації в квантовому каналі. Далі необхідно обчислити рівень стійкість протоколу до можливих видів атак, зокрема, атаки пасивного перехоплення, тобто обчислити кількість інформації, яка може бути перехоплена зловмисником у залежності від параметрів протоколу. Наступний етап синтезу, що ґрунтується на отриманих результатах аналізу стійкості протоколу, – це розробка процедур підсилення стійкості. Також необхідно вибрати ефективний завадостійкій код, квантовий або класичний, з урахуванням особливостей передавання інформації в даному протоколі. На рис. 1 показана схема цих етапів.

На даний час запропоновані різні види квантових протоколів прямого безпечного зв'язку. Більшість з них потребує передачі кубітів блоками. Це дозволяє виявити прослуховування квантового каналу до початку передавання самого повідомлення й таким способом гарантувати безпеку передачі – якщо прослуховування виявлене до передавання повідомлення, то легітимні користувачі переривають сеанс і ніяка інформація не попадає до зловмисника. Але

для зберігання таких блоків кубітів необхідна квантова пам'ять великого об’єму. Технологія квантової пам'яті активно розробляється, але ця технологія поки ще далека від масового застосування в стандартному телекомунікаційному встаткуванні. Тому з погляду технічної реалізації перевагу мають протоколи, у яких передавання здійснюється одиночними кубітами або невеликими їх групами (за один цикл протоколу). Одним з таких протоколів є так званий пінг-понг протокол [4], який не потребує для своєї практичної реалізації великої квантової пам'яті і може виконуватися з використанням існуючого технічного обладнання [5].

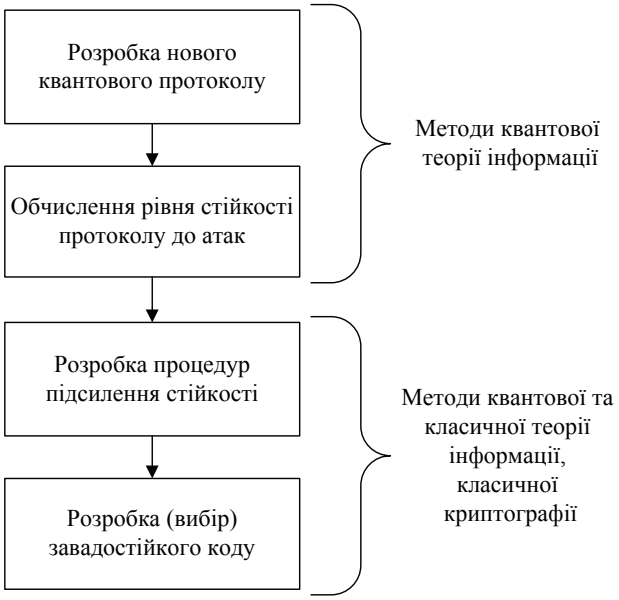


Рис. 1. Етапи синтезу структури квантової системи прямого безпечного зв’язку

В роботах автора розроблені декілька нових варіантів пінг-понг протоколу з використанням груп дво- та тривимірних квантових систем (кубітів та кутритів), які знаходяться в повністю переплутаних станах різного типу [6–8]. Використання багатокубітних або багатокутритних станів дозволяє значно збільшити інформаційну місткість пінг-понг протоколу. Таким чином, виконано перший етап синтезу структури квантової системи прямого безпечного зв’язку для різних варіантів базового протоколу. Також проаналізовано атаку пасивного перехоплення [3,9,10] та ряд інших атак [9] на розроблені варіанти пінг-понг протоколу, що є реалізацію другого етапу. На рис. 2 у логарифмічному масштабі наведені залежності повної ймовірності s невиявлення атаки пасивного перехоплення від кількості інформації I, що витікає до зловмисника, при деяких параметрах протоколів, які відповідають передаванню повідомлень з максимальною ентропією джерела, а також атаці, при який зловмисник прагне отримати як можна більше інформації.

Як видно з рис. 2, всі варіанти пінг-понг протоколу мають *асимптотичну* стійкість до атаки пасивного перехоплення, тобто атака буде виявлена, але зловмисник зможе перехопити деяку (невелику) кількість інформації. Щоб зробити інформацію, яка витекла до зловмисника, некорисною для нього, розроблено спеціальний спосіб підсилення стійкості пінг-понг протоколу [11]. Цей спосіб є оборотним гешуванням (гешуванням з використанням двосторонньої геш-функції) блоків відкритого тексту. Роль такої геш-функції грає випадкова, оборотна над полем Галуа GF(2) (або GF(3) для протоколу з кутритами) матриця чисел. При цьому розмір блоку відкритого тексту для гешування вибирається з умови, щоб ймовірність s невиявлення атаки пасивного перехоплення дорівнювала наперед заданої величині. Таким чином, синтезується квантова система прямого безпечного зв’язку з заданим рівнем стійкості до атаки пасивного перехоплення.

Також виконані оцінки обчислювальної складності генерації випадкових оборотних двійкових (розміру до 1000×1000) та трійкових (розміру до 200×200) матриць, та показано,

що час генерації таких матриць прийнятний навіть при використанні обчислювальної техніки з невисокою швидкодією [11]. Таким чином, виконано третій етап синтезу структури квантової системи прямого безпечного зв’язку, яка ґрунтується на пінг-понг протоколі.

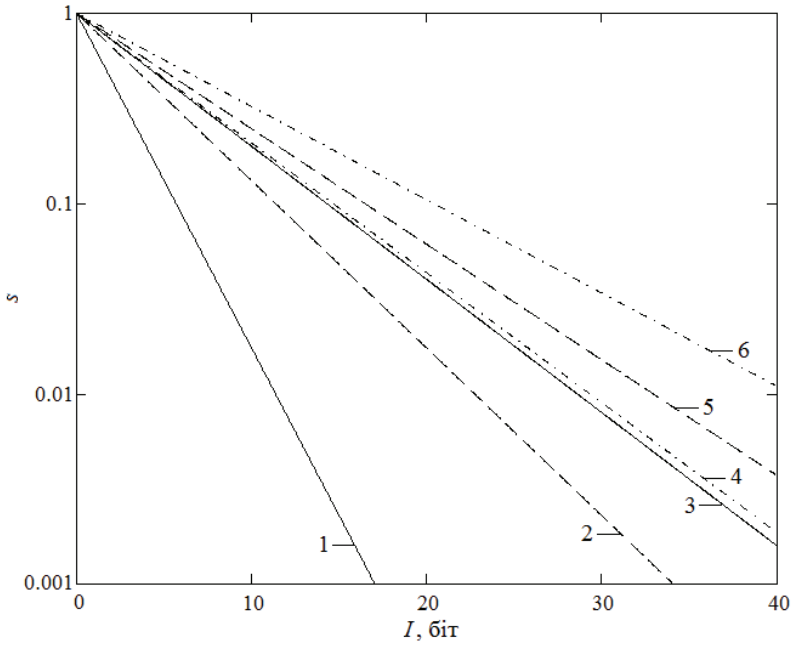


Рис. 2. Повна ймовірність *s* невиявлення атаки: 1 – оригінальний протокол; 2 – протокол з парами кубітів; 3 – протокол з парами кутритів; 4 – протокол з ГХЦ-четвірками кубітів; 5 – протокол з чотири-кубітними кластерними станами; 6 – протокол з ГХЦ-шестірками кубітів.

Четвертий етап синтезу пов'язаний з тим, що практичне використання квантової системи прямого безпечного зв’язку буде відбуватися не в ідеальних квантових каналах, а в реальних каналах з завадами. Оскільки квантові комунікаційні протоколи призначені для безпечного передавання *класичної* інформації квантовими каналами зв’язку, то для таких протоколів вигідніше використовувати *класичні завадостійкі коди*. Квантові завадостійкі коди, які розроблені на даний час [1], мають значно більшу надлишковість у порівнянні з відомими класичними. Для пінг-понг протоколу з парами Бела або ГХЦ-триплетами кубітів запропоновано використовувати код Файра, який виправляє пакети помилок довжиною до трьох бітів. Для протоколу з парами переплутаних кутритів запропоновано використовувати коди Ріда-Соломона над полем Галуа $GF(3^2)$. В роботі [12] побудовані таки коди та виконано оцінку їх корегувальної здатності. Отримана статистична інформація показує, що трійкові коди Ріда-Соломона добре справляються з корекцією помилок, якщо ймовірність деполяризації кутриту в квантовому каналі не перевищує 25-30% (в сучасних експериментах рівень помилок при передаванні фотонів квантовим каналом, як правило, не перевищує декількох процентів).

На рис. 3 показана послідовність (стек) протоколів, що реалізують режим передавання повідомлень для безпечної квантової системи зв’язку.

Висновки. В роботі запропоновано загальний підхід до проблеми структурного синтезу квантової системи прямого безпечного зв’язку й наведено результати застосування цього підходу до синтезу конкретних систем, які ґрунтуються на різних варіантах пінг-понг протоколу. Показано, що синтез складається з чотирьох етапів: розробка квантового протоколу прямого безпечного зв’язку; аналіз його стійкості до атак, зокрема атаки пасивного перехоплення; розробка процедур підсилення стійкості, які дозволять синтезувати систему з заданим рівнем стійкості; розробка (або вибір серед існуючих) класичного завадостійкого коду, який враховує особливості передавання інформації в даному квантовому протоколі. Розроблено стек протоколів, що реалізують режим передавання повідомлень для безпечної квантової системи зв’язку, яка використовує будь-який з варіантів пінг-понг протоколу в якості базового.

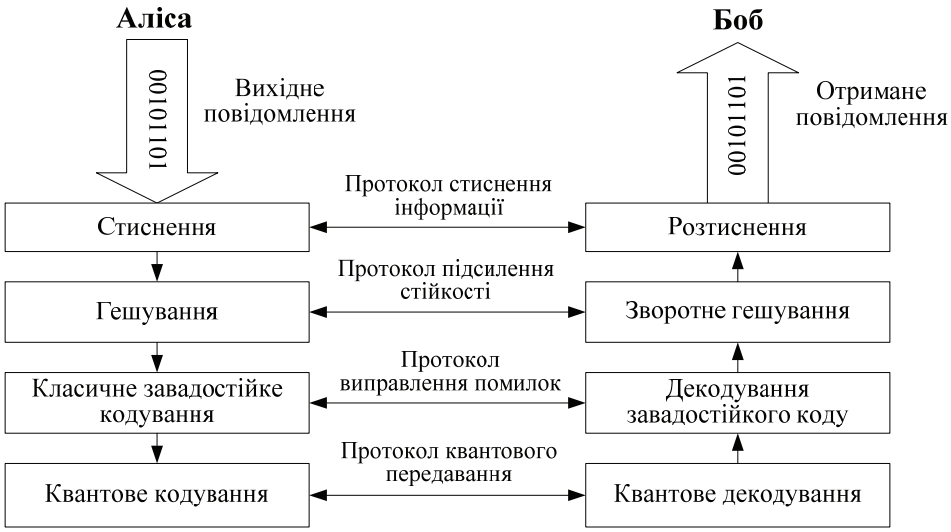


Рис. 3. Стек протоколів квантового прямого безпечного зв'язку

Список літератури

1. Нильсен М. Квантовые вычисления и квантовая информация / Нильсен М., Чанг И. – М.: Мир, 2006. – 824 с.

2. SECOQC White Paper on Quantum Key Distribution and Cryptography. – Preprint: http://www.arxiv.org/abs/quant-ph/0701168v1. – 2007. – 28 p.

3. Василиу Е.В. Синтез основанной на пинг-понг протоколе квантовой связи безопасной системы прямой передачи сообщений / Е.В. Василиу, С.В. Николаенко // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2009, № 1. – С. 83–91.

4. Bostrom K. Deterministic secure direct communication using entanglement / K. Bostrom, T. Felbinger // Physical Review Letters. – 2002. – V. 89, issue 18. – 187902.

5. Ostermeyer M. On the implementation of a deterministic secure coding protocol using polarization entangled photons / M. Ostermeyer, N. Walenta // Optics Communications. – 2008. – V. 281, issue 17. – P. 4540–4544.

6. Василиу Е.В. Пинг – понг протокол с трех– и четырехкубитными состояниями Гринбергера – Хорна – Цайлингера / Е.В. Василиу, Л.Н. Василиу // Труды Одесского политехнического университета. – 2008, вып. 1(29). – С. 171–176.

7. Василіу Є.В. Пінг–понг протокол з повністю переплутаними станами пар та триплетів тривимірних квантових систем / Є.В. Василіу // Цифрові технології. – 2009, № 5. – С. 18–26.

8. Василиу Е.В. Три новых протокола квантовой безопасной связи с четырехкубитными кластерными состояниями / Е.В. Василиу, Р.С. Мамедов // Цифрові технології. – 2009, № 6. – С. 94–103.

9. Василиу Е.В. Стойкость пинг-понг протокола с триплетами Гринбергера – Хорна – Цайлингера к атаке с использованием вспомогательных квантовых систем / Е.В. Василиу // Информатика: Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси. – 2009, № 1 (21) – С. 117–128.

10. Vasiliu E.V. Non-coherent attack on the ping-pong protocol with completely entangled pairs of qutrits / Eugene V. Vasiliu // Quantum Information Processing. – 2011. – V. 10, num. 2. – P. 189–202.

11. Василіу Є.В. Оцінки обчислювальної складності способу підсилення безпеки пінг – понг протоколу з переплутаними станами кубітів та кутритів / Є.В. Василіу, Р.С. Мамедов // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2009, № 2. – С. 14–25.

12. Корченко О.Г. Оцінка корегувальної здатності завадостійких трійкових РС-кодів при передачі інформації повністю переплутаними станами кутритів квантовим каналом із шумом / О.Г. Корченко, Є.В. Василіу, С.О. Гнатюк, В.М. Кінзерявий, А.М. Горчинська // Захист інформації. – 2010. – №4. – С. 44–53.

УДК 004.732.056(075.8); 621.391

В.Г. Кононович, канд. техн. наук (ОНАЗ, Україна), І.В. Кононович (ОДАХ, Україна)

ВИЗНАЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОЛЯ З ПОЗИЦІЙ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

Представлено уявлення теорії інформації, важливі у сфері інформаційної безпеки. Дано інтерпретацію інформаційних процесів джерел інформації. Показана інформаційна модель взаємодії фізичного та інформаційного світу. Сформульовано Закон природного кругообігу інформації. Визначене поняття інформаційного поля фізичного й віртуального світу.

Усякі дослідження у сфері інформаційної безпеки починаються з аналізу й категорію-вання інформації та інформаційних ресурсів. Треба знати, що таке «інформація» не лише у стохастичних (за К. Шеноном) та алгоритмічних (за А.Н. Колмогоровим) системах, а й у кібернетичних, біологічних, соціальних та соціально - технічних системах. Корисно виявити властивості інформації та інформаційних процесів, які впливають на інформаційну безпеку систем. Проблематика дослідження, аналіз досягнень та публікацій наведені у [1].

Поняття інформаційного поля джерела інформації. Всякий рух матерії, всяка зміна енергії, властивості, явища, процесу, всякий вплив на живу й неживу природу, всяке перетворення та взаємодія, всяка нерівномірність чи неоднорідність є джерелом створення та фактором існування інформації (точніше – інформи). Можна виокремити такі види взаємодій матеріальних об’єктів: випромінювання, відбивання випромінювання, об’єкти і процеси копіюються, вони само організуються, мають місце процеси творчих винаходів тощо.

Інформацією було запропоновано називати інформу, яка здатна на приймальній стороні виконати певне формотворення. Інформацію від інформи відрізняє наявність «смислу» або «цілі». Наприклад, хвиля розповсюджується в усі сторони і приймачами цієї хвилі будуть декілька об’єктів. Кількості інформи тут буде стільки, скільки її згенерує джерело інформи. Інформації буде стільки, скільки виникне «смислів» у приймачах інформи. Джерелом інформації є інформа, а джерелом інформи є взаємодія.

Абстрагуючись від конкретних видів взаємодії можна пояснити природу інформи та інформації. Янковський це робить, розглядаючи інформаційний обмін у цілому, як глобальне явище, виявляючи необхідні та достатні прикмети поняття «інформація» [2, с. 1, 2].

У природі існують два фундаментальні види взаємодії: обмін речовиною та енергією. Всі інші взаємодії відбуваються лише за їх допомогою. Ці види взаємодії підкоряються закону зберігання. Енергетична та речовинна взаємодія є симетричною, тобто скільки один об’єкт віддає, стільки ж другий об’єкт одержує (незалежно від результату взаємодії). Може відбуватися така взаємодія, коли втрати одного об’єкту не співпадають із надбанням другого об’єкту. Така взаємодія є несиметричною. Янковський робить такі висновки щодо найбільш загальних властивостей інформації: 1. Будь-яка взаємодія між об’єктами, у процесі якого один здобуває деяку субстанцію, а інший її не втрачає, називається інформаційною взаємодією. При цьому субстанція, що передається, називається інформацією; 2. Основним поняттям є *інформаційний процес*; 3. Інформація не може існувати поза взаємодією; 4. Інформація з’являється під час взаємодії t та зникає разом з ним. При цьому $0 < t > \infty$.

Висновок 1 має деякий наліт містичності. Висновки 3 і 4 справедливі, як буде ясно далі, лише для фізичного світу. У інформаційному світі, завдяки кодуванню, інформація відчужується від первинної взаємодії, може запам’ятовуватись, формувати нові взаємодії. Знімемо наліт містичності і розглянемо, крім обміну енергією та речовиною, третю фундаментальну взаємодію, – обмін інформацією у наступних міркуваннях.

За деяких взаємодій обмін енергією чи речовиною може бути таким малим, що ним можна знехтувати, а результат взаємодії за різних причин: – із-за резонансу, самоорганізації, позитивного зворотного зв’язку, режиму із загостренням, переходу в інший стійкий стан тощо, – може бути значним. Саме таку взаємодію пропонується називати інформаційним про-

цесом, за якого передається інформація (інформа) від джерела до іншого об'єкту. Проаналізуємо чотири випадки взаємодії, які утворюють повну групу (табл. 1).

Таблиця 1 – Типи енерго-речовинних та інформаційних взаємодій

№ з/п	Величина (інтенсивність) енерго-речовинного впливу	Значність наслідків формоперетворення	Тип взаємодії
1	Велика	Велика	Енерго-речовинне формоперетворення
2	Велика	Мала	Енерго-речовинний вплив
3	Мала	Велика	Фундаментальне інформаційне формотворення
4	Мала	Мала	Інформаційно-енерго-речовинне формотворення

Перші два випадки сумнівів не викликають. Формотворення чи перетворення форми у цих випадках може бути енерго-речовинним. Третій випадок взаємодії віднесено до фундаментальної інформаційної взаємодії. Малий, або навіть непомітний, вплив викликає значні наслідки і серед цих наслідків бувають не тільки руйнівні, а й творчі, формотворчі.

Тоді, до висновків Яновського можна додати ще два: *Висновок* 5. Інформа виникає разом з виникненням об'єкту, бо з виникненням об'єкту відразу виникає його взаємодія із середовищем; *Висновок* 6. Інформація народжується з інформи тоді, коли з'являються умови для формотворення. Формотворення може бути енергетичним (енерго-речовинним) та інформаційним. Різниця у тому, що за інформаційних процесів доля його використаної енергетичної складової настільки мала, що нею можне знехтувати.

Крім того, можливо сформулювати *аксіому*: енерго – речовинні процеси можуть бути перетворені у інформаційні процеси і, навпаки, інформаційні процеси можуть бути перетворені (за наявності множини необхідних і достатніх умов) у енерго – речовинні процеси. Інакше кажучи, інформація може перетворюватись у речовину чи енергію (матерію) і навпаки. Дійсно, якщо від енергетично - речовинного процесу взяти його маленьку частину – копію, так, що б вона у масштабі повторювала батьківський процес, то, згідно вищенаведеного визначення, одержимо інформаційний процес, – інформацію щодо батьківського процесу. Можливість перетворення інформації у речовину доведена самою природою. Біохімічна машина живої клітини перетворює інформацію, записану в ДНК, у біологічну речовину шляхом синтезу білку за участю глюкози (зовнішньої енергії) та набору певних молекул (речовини середовища).

Розглянуті приклади відкривають можливість дати визначення. *Інформаційним полем джерела інформації (інформи) у природі* (фізичному світі) називається область, у кожній точці P якої задано скаляр $\varphi(P)$ та/або вектор $a(P)$, які характеризують зміну фізичної величини об'єкта (фізичної системи, її стану, діючого в них процесу тощо), який стає носієм інформації (інформи) в цих точках P внаслідок впливу джерела на об'єкт за їх взаємодії. Змінами можуть бути модуляція фізичної величини або інші її перетворення. Форми взаємодії можуть перетворюватись одна в одну. Не всі форми взаємодій можуть бути охарактеризовані кількісно, бо не всі явища допускають кількісне описання і не всі величини мають кількісний смисл. Зауважимо, що запропоноване визначення інформаційного поля та вимірювання його кількісних характеристик є дійсними до кодування інформації (інформи).

Визначення поняття інформації методом послідовного уточнення. Інтуїтивно зрозумілий термін «інформація» піддається формалізації з великими труднощами, оскільки це поняття має велику якісну ємність. Деякі автори навіть доходять до висновку, що: «загального визначення, мабуть, давати не потрібно». Між тим, така ситуація виникає у науці не вперше, наприклад, виникали труднощі з визначенням поняття «алгоритм». Визначення поняття «алгоритм» було послідовно уточнено у три кроки: 1. Дається попереднє описове визначення поняття, яке потім буде уточнено: Алгоритм або алгорифм – це всяка система обчислень, які виконуються за строго визначеними правилами, які після якого-небудь числа кроків цілком певно приводить до вирішення задачі (А.Н. Колмогоров); 2. Дається уточнення поняття за допомогою повного переліку його властивостей: дискретності – виконується кроками; масовості – застосовується для вирішення широкого кругу задач; результативності – приводить до результату за будь-яких вхідних даних; конечності – результат має бути отримано за конечне число кроків. 3. Дається уточнення поняття за допомогою гіпотетичних машин

А.А. Тюрінга або Е.Х Поста. Машина Тюрінга, як математична модель, є елементарним аксіоматичним об'єктом у базовій системі аксіом теорії алгоритмів і теорії автоматів, які входять до інформаційної теорії систем.

Використаємо методологію послідовного уточнення поняття для уточнення поняття «інформація». Описових понять, що справедливі у рамках певних напрямках науки і техніки, відомо багато. Частина переліку загальних властивостей інформації подана вище. Повній перелік включає більше 20 властивостей. Функціональна повнота переліку властивостей інформації поки що не доведена. Наступним етапом є уточнення поняття «інформації» за допомогою абстрактних машин.

Функціонально-повний набір абстрактних інформаційних машин. Абстрактною (примітивною) інформаційною машиною будемо називати модель найпростішого природного чи штучного механізму, за допомогою якого досягається реалізація функціонального призначення інформації, тобто виконання елементарних інформаційних операцій. Набір таких абстрактних машин має бути функціонально повним, охоплювати моделювання всіх функціональних призначень інформації і давати можливість будувати з цих примітивних машин інформаційні системи, що реалізують інформаційні процеси будь якої складності. Пропонується набір із шести примітивних машин: *копіювання* – підсилення, послаблення, повторення, репродукція; *функція* – функціональне перетворення, функціонал, кодування, передача у просторі і часі, канал передавання; *пам'ять* (тригер) – пристрій запам'ятовування; *управління* – зворотний негативний та позитивний зв'язок, збереження стійкості структури, гомеостазу; *автомат* – кібернетичне перетворення (та творення): скінчений та мікро-програмний автомат, машина Тюрінга або Поста; *процесор – конструктор* (матеріалізатор) – перетворення інформації у речовинно – енергетичну реалізацію, управління матеріалізацією інформації, перетворення віртуальної реальності у матеріальну (фізичну) реальність. Набір примітивних функціональних перетворень дозволяє будувати складні інформаційні машини. Наприклад, з перших трьох примітивних машин можна побудувати систему передачі інформації або запам'ятовуючий пристрій.

Модель взаємодії фізичного та інформаційного світу. Вперше про інформаційний світ говорив В.В. Налімов, ввівши поняття «Всесвіт смислів». Нерозривну двоєдність «Світу інформаційного та Світу матеріального» доводить П. Ю. Черносвітов. Уявлення щодо моделі інформаційної взаємодії елементів фізичного та інформаційного світів представлені на рис. 1. Оточуючий нас світ можна поділити на два взаємодіючих між собою світи. Один з них – безмежний та різноманітний за своїми формами матеріальний (фізичний) світ. Інший – це інформаційний світ. Фізичний світ описується фізичними законами, де діють закони фізики, фізичні стани, фізичні величини, закони зберігання. Його можна можна поділити на природний та штучний. Інформація може розглядатись як фізичний об'єкт і визначатись як фізична величина. А.І. Дьомін [14, с. 20] подає наступне визначення: «Ту інформацію, яку ми спостерігаємо в оточуючому світі в натуральній формі і сприймаємо за допомогою наших органів чуттів (або приладів, К.В.), ми будемо називати *первинною інформацією*, а ту, яку ми отримаємо у кодованій формі у процесі навчання та мислення – *вторинною інформацією*».

Паралельно матеріальному світу створився інформаційний світ. На відміну від фізичного світу, у інформаційному (віртуальному) світі діють інформаційні логіко-алгоритмічні закони, його об'єкти і суб'єкти (розум, свідомість, життя), хоча й мають обов'язковий матеріальний носій але існують як процеси. Основними категоріями інформаційного світу є тетрада: матерія, енергія, інформація (організація), свідомість (розум, інтелект). Інтелект може бути природним і штучним. Інформаційний світ з'являється там, де є розум, де розум стає відігравати основну роль. Енергія і речовина забезпечують універсальні перетворення в універсальних машинах і ніяк не зв'язані із змістом і видом кодованої інформації, яка обробляється машинами. Інформаційний світ складається із віртуальних об'єктів, які функціонують на матеріальних носіях. Матеріальними носіями інформаційного світу є: пристрої пам'яті, засоби комунікації, книги, друковані видання, рукописи; універсальні комп'ютерні системи, бази даних, бази знань, універсальні засоби обробки та відображення інформації; соціальні,

культурні, ментальні сфери, сфери індивідуального та колективного підсвідомого; тощо.

Світи поділяються за критерієм класів законів, які в них діють. У інформаційному світі діють інформаційні закони, закони віртуальності та алгоритмів, закони мислення, смислотворення, творчості. Фізичні та інформаційні закони частково автономні. Світи існують разом, взаємодіючи та забезпечуючи розвиток один одного.. Кожен процес у інформаційному світі існує на фізичних носіях і за допомогою носіїв.

Інформаційний світ опирається на фізичний такими процесами: 1) інформація обробляється фізичними інформаційними машинами (абстрактною машиною Тюрінга, пам'яті тощо); 2) фізичний світ є постачальником інформи; 3) фізичні інформаційні машини-конструктори (ІМК) служать для перетворення інформації у фізичні об'єкти чи процеси [див. 1]; 4) фізичний світ є постачальником речовини та енергії.

Фізичний та інформаційний світи безпосередньо стикуються між собою процесом «кругообігу інформації». Інтерфейсами між світами є фізичні джерела інформації (інформи), що сприймаються через «вікна фільтру смислів культури», та абстрактні ІМК (матеріалізатори). Широко поширеним і давно знайомим варіантом кругообігу є процес проектування нових об'єктів. Згідно закону У. Росс Ешбі, щодо необхідного різноманіття складність інформаційного світу повинна перевищувати складність матеріального світу, який вона відображає, регулює і перетворює. З точки зору інформаційної безпеки інформаційний світ охоплює сферу захисту інформації від несанкціонованого доступу у комп'ютерних системах та мережах, а також організаційну роботу з персоналом та користувачами.

Інформаційне поле джерела інформації в інформаційному світі. Інформаційне поле інформаційного світу відрізняється від інформаційного поля фізичного світу тим, що в інформаційному світі діють переважно не фізичні, а логічно-алгоритмічні інформаційні закони. У ньому циркулює «оцифрована» кодована інформація. Визначення інформаційного поля має дозволяти описувати рух та обробку інформації, наприклад, у суспільстві або нейронній мережі.

Моделлю «інформаційного простору» може бути плоска мережа взаємодій, визначена на певній множині елементів і що описується графом з регулярною або нерегулярною структурою. Вузлами такого графу є взаємодіючі об'єкти, а взаємодії між ними позначаються ребрами графа. Тоді можемо дати наступне визначення.

Інформаційним полем джерела інформації (інформи) в інформаційному світі називається мережа (описувана інформаційним графом), у кожному вузлі P_i якої задано скаляр $\varphi(P_i)$ та/або вектор $a(P_i)$, які характеризують інформацію, що обробляється абстрактною багато стрічковою машиною Тюрінга та іншими абстрактними інформаційними машинами, а на ребрах задано скаляр φ (a_{ij}) та/або вектор $b(a_{ij})$, які характеризують потоки інформації, які передаються. Інформаційне поле в інформаційному світі є ієрархічним, багаторівневим. Наприклад, класифікація рівнів ієрархії може бути проведена у залежності від одиниць, якими вимірюється кількість інформації на кожному з рівнів. Можна вділити такі рівні: комунікаційний або рівень інформаційних квантів (біти, байти, символи, пакети, кадри; біт/с, *MIPS*; *FLOPS*), синтаксичний або документальний (слова, речення), інтелектуальний або рівень смислів (смислові одиниці й образи – «мислеформи» та формування реакцій) тощо.

Висновки. Введені з позицій інформаційної безпеки визначення понять інформації, інформаційного поля у фізичному та віртуальному світі можуть бути корисними при аналізі інформаційних процесів, інформаційного виробництва у інформаційному суспільстві.

Список літератури

1. Кононович В. Г. Основи захисто – орієнтованої теорії інформації: Частина 1. «Інформація». Функціонально *повний набір абстрактних інформаційних машин / В. Г. Кононович // Цифрові технології: Збірник / Кол. Авт: – Вип. 7. Одес. нац. академія зв'язку. – Одеса, 2010. – С. 67 - 80.*

2. Янковський С. Концепции общей теории информации [Электронный ресурс]. – 27 с. – Режим доступу: http://syy.narod.ru/Ibook.htm.

3. Еремин А. Л. Ноогенез и теория интеллекта [Электронный ресурс] / А. Л. Еремин. – Краснодар, 2005. – 356 с. – Режим доступа: http://a-eremin.ru/rus.

УДК 004.732.056(075.8); 621.391

В.Г. Кононович, канд. техн. наук (ОНАЗ, Україна)

ЕВОЛЮЦІЯ ПАРАДИГМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ, СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНОЇ ТА КІБЕРБЕЗПЕКИ

Розглядається еволюція парадигми інформаційної та кібербезпеки, пояснюються особливості нової соціально центричної парадигми кібербезпеки державного, суспільного та приватного інформаційного виробництва. Пропонується нова система соціально-психологічного захисту інформації, представляються її задачі, політика, засоби та організація.

Темпи розвитку інформаційних технологій дещо знизились, але залишаються високими. Слідом за ними і за новими загрозами стрімко розвиваються системи інформаційної безпеки.

Поняття парадигми розглядають як сукупність цінностей, методів, підходів, технічних навиків і засобів, способів рішення задач, прийнятих в науковому співтоваристві фахівців (інформаційної безпеки) в рамках наукової традиції, що склалася в певний період часу. Парадигма зазнає зміни залежно від накопиченого досвіду і результатів наукових досліджень. Історично парадигми інформаційної безпеки послідовно змінювали одна одну, зберігаючи, доповнюючи і удосконалюючи попередні: класична парадигма захисту інформації, що заснована на контролі доступів; парадигма ешелонованої багаторівневої системи інформаційної безпеки інформаційних ресурсів і технологій (система кругової оборони); мережецентрична парадигма інформаційної безпеки інформаційних ресурсів; парадигма кібербезпеки підприємств, як розвиток мережецентичної парадигми. На черзі знаходиться майбутня розробка нової социальноцентричної парадигми інформаційної безпеки державного, суспільного і приватного інформаційного виробництва.

Класична парадигма захисту інформації, заснована на контролі доступів, була застосована до автоматизованої системи класу 1 - одно - машинного одно - користувацького комплексу, який обробляє інформацію однієї або декількох категорій конфіденційності і прикладом якої служить автономна персональна електронна обчислювальна машина (ПЕОМ). Класична парадигма полягає в забезпеченні збереження заданих властивостей інформації і автоматизованої системи, а саме: конфіденційності і цілісності інформації, доступності ресурсу системи, цілісності і спостережності автоматизованої системи. Концепція захисту передбачала, як головні, задачі обмеження кола користувачів і створення системи розмежування доступу користувачів до інформації за категоріями. Теоретичною базою систем захисту стала теорія гарантовано захищених систем. Захист здійснюється комплексною системою захисту інформації (КСЗІ), яка складається з правового, організаційно-методичного, технічного, програмного, інформаційного і математичного забезпечень, які запобігають реалізаціям загроз або істотно утрудняють реалізацію атак.

Парадигма ешелонованого багаторівневого захисту інформаційних ресурсів розвинулася з розширенням сфери вживання інформаційних технологій, глобальним розповсюдженням Інтернет, активним упровадженням доступу до розподілених баз даних за технологією клієнт - сервер. Характерною особливістю цієї парадигми є перехід від концепцій захисту інформації до концепції інформаційної безпеки технологій і інформаційних ресурсів. Додатково до головної мети системи інформаційної безпеки додається забезпечення стійкого функціонування ІТС, захист законних інтересів підприємств від протиправних посягань, недопущення крадіжки фінансових коштів, підвищення якості наданих послуг і гарантій безпеки майнових прав і інтересів абонентів. Концептуальна технічна модель ешелонованої багаторівневої системи інформаційної безпеки представлена міжнародним стандартом ISO/IEC 15408, який визначає технологію розробки профілів захисту і проектів безпеки. Модель включає набір послуг безпеки (і механізмів безпеки, що реалізовують ці послуги), які забезпечують функції моніторингу, захисту і вживання інформаційних ресурсів з метою поетапного запобігання

можливості проникнення порушником, виявлення факту проникнення, локалізації об'єкту вторгнення і нападу, нейтралізації і видворення порушника, відновлення втрачених функцій системи. Новим в концептуальній моделі є широке вживання фільтрів, міжмережевих екранів, які забезпечують захист периметра.

Мережецентричная парадигма інформаційної безпеки інформаційних ресурсів (сучасна парадигма інформаційної безпеки) витікає з сучасного досвіду і наукових досягнень, з факту бурхливого розвитку ІТС, з розвитку, складності і ролі мереж зв'язку, як критичного державного ресурсу. Ставляться вимоги забезпечення готовності і живучості, що передбачає підтримку таких властивостей як надійність функціонування телекомунікаційної системи, її сталість, доступність інформаційних ресурсів, цілісність та відновлюваність структури системи. Комплексний підхід означає необхідність створення мережної інфраструктури забезпечення інформаційної безпеки, оскільки уразливість якої-небудь ланки мережі може створити проблеми для всіх її учасників, як провайдерів і операторів, так і споживачів послуг. Інформаційна безпека повинна забезпечуватися не тільки від загроз кожному елементу або сервісу, а повинна бути забезпечена у взаємодії засобів і заходів безпеки в мультимедійному середовищі при повній комплексній реалізації безпеки передачі інформації з кінця в кінець.

Складність сучасних ІТС приводить до необхідності і корисності виділення окремо ІТС класу 4, - глобальний розподілений розрахований на багато користувачів, багатодоменний комплекс, який обробляє інформацію різних категорій конфіденційності і різних власників. Домен включає себе ІТС класу 3, яка належить одному власнику і має свою КСЗІ, що захищає домен по периметру, свою систему управління інформаційною безпекою, свою систему попередження, виявлення, обробки і ліквідації інцидентів з інформаційною безпекою, свою єдину для домена політику безпеки.

У ІТС забезпечення інформаційної безпеки переплітається з: управлінням якістю надання послуг зв'язку, де захищеність і готовність інформаційних ресурсів є складовою частиною оцінки якості; управлінням економічною ефективністю, де є взаємозв'язок між інформаційними і економічними ризиками; задачами технічної експлуатації в частині забезпечення вимог до збереження мінімального набору критично важливих функцій, до живучості інформаційних систем, до запасу стійкості при дії чинників зовнішнього середовища, що дестабілізують.

Парадигма кибербезпеки підприємств, як розвиток мережецентричної парадигми

Для підприємств ІТС актуальна концепція кібербезопеки. Кібербезпека – це набір засобів, стратегії, принципи забезпечення безпеки, гарантії безпеки, керівні принципи, підходи до управління ризиками, дії, професійна підготовка, практичний досвід, страхування і технології, які можуть бути застосовані для захисту кіберсередовища, ресурсів організацій і користувача. Ресурси організації або користувача включають приєднані комп'ютерні пристрої, персонал, інфраструктуру, застосування, послуги, системи зв'язку, і всю сукупність переданої и/или збереженої інформації у кіберсередовищі.

Кібербезпека полягає в спробі досягнення і збереження властивостей безпеки ресурсів організації або користувача, направлених проти відповідних загроз безпеки у кіберсередовищі. Загальні задачі забезпечення безпеки включають: доступність; цілісність, яка може включати автентичність і невідмовність; конфіденційність. «Кіберсередовище включає користувачів, мережі, пристрої, все програмне забезпечення, процеси, збережену або транзитну інформацію, додатку, послуги і системи, які можуть бути прямо або опосередковано сполучені з мережами.У сучасному діловому оточенні концепція периметра зникає. Межі між внутрішніми і зовнішніми мережами стають більш розмитими». Безпека забезпечується на всіх рівнях телекомунікаційних мереж, мережі доступу, мережному, транспортному рівнях, рівнях управлінні мережею і надання послуг.

Соціальноцентрична парадигма інформаційної безпеки державного, суспільного і приватного інформаційного виробництва. Перехід людства до інформаційного суспільства закономірно вимагає розробки нової соціальноцентрічної парадигми Розвинене і стабільне інформаційне суспільство характеризується прагненням і можливістю держави створювати

умови для вільного доступу своїх громадян до інформаційних продуктів, товарів і інших ресурсів, і умінням захищати національні інформаційні ресурси, інтереси особи, суспільства і держави в цілому від внутрішнього і зовнішнього негативного впливу. При цьому, у сфері захисту інформаційних ресурсів необхідно забезпечувати надійне, безпечне функціонування національної інформаційної інфраструктури, інформаційного виробництва і їх подальший ефективний розвиток. Цілі і задачі інформаційної безпеки переплітаються з метою і задачами соціально-економічної безпеки і розв'язуються, багато в чому, за допомогою однакових механізмів безпеки. Невід'ємною частиною комплексної безпеки інформаційного суспільства буде і безпека людського капіталу, як частина соціальної та національної безпеки.

Поняття про систему соціального захисту інформації. Законодавством визначені поняття криптографічного та технічного захисту інформації. У їх склад входять у різних пропорціях криптографічні, технічні та організаційні засоби захисту.

З міркувань симетричності, яка є одною із фундаментальних властивостей природи, та почуття естетичності функціональної повноти класів систем захисту інформації, яке по праву вважається критерієм правильності технічних рішень, а також потреб практичної діяльності має бути реалізований клас систем захисту інформації, в якому головну роль, поряд з технічним та криптографічним забезпеченням системи захисту, відігравали б соціально-психологічні організаційні засоби – робота з персоналом, користувачами, кадровим забезпеченням, тобто в якому головна увага приділялась би людському фактору. Є вагомі обґрунтування уведення цього поняття виду захисту – СЗІ. З численних статистичних даних випливає, що до 60% інцидентів з інформаційною безпекою пов’язані з людським фактором. Значний обсяг відкритої та закритої інформації, які підлягають захисту, вимагає застосування автоматизованих систем і засобів захисту. Зростає роль соціальної інформації в підтримці і забезпеченні національної безпеки, що посилює необхідність її захисту.

СЗІ забезпечують проведення організаційно-психологічних заходів для захисту соціальної інформації. Системи СЗІ мають функціонувати на об’єктах інформаційної діяльності органів державного управління та самоврядування, фірмах та підприємствах будь-якої форми власності, суспільних організаціях, об’єднаннях громадян тощо.

Споживачами послуг системи СЗІ є суб’єкти системи національної безпеки, органів державного управління, систем інформаційної безпеки комунікацій (транспорту, енергетичних мереж, паливо-проводів, зв’язку), систем забезпечення життєдіяльності, оборони, надзвичайних ситуацій, правопорядку, промислових об’єктів тощо.

Системи КЗІ, ТЗІ, СЗІ взаємопов’язані одна з одною. Вони можуть бути складовою частиною інших систем безпеки: економічної безпеки, екологічної безпеки, енергетичної, продовольчої безпеки тощо. Політика безпеки соціальної інформації має передбачати наступні задачі захисту: підтримка властивостей цілісності й доступності соціальної інформації; попередження негативних впливів інформації з точки зору інформаційного протиборства; інформаційне забезпечення процесів відтворення соціального капіталу в державі.

Соціальний захист інформації (СЦЗІ) – це вид захисту інформації, спрямований на забезпечення за допомогою організаційних та психологічних заходів, а за необхідності інженерно-технічних та криптографічних засобів, унеможливлення впливу на інформацію, знищення та блокування інформації, порушення цілісності та режиму доступу до інформації. Спосіб реалізації СЦЗІ та його склад потребують подальшого уточнення.

СЦЗІ призначений забезпечити інформаційну безпеку людини, суспільства та держави. Інформаційна безпека суспільства – це стан захищеності інформаційного середовища суспільства, яке забезпечує його формування й усталений розвиток в інтересах громадян та держави. При цьому, під інформаційним середовищем розуміють сукупність інформаційної інфраструктури, інформаційних ресурсів, систему формування, зберігання, розповсюдження, використання й захисту інформації. Загроза інформаційні безпеці – це фактори або їх сукупність, які створюють небезпеку функціонуванню та розвитку інформаційного середовища суспільства, організації, підприємства. Подібно тому, як ТЗІ є необхідним при забезпеченні правил оброблення документів, які містять державну таємницю, так і СЦЗІ є необхідним при

забезпеченні правил обігу й оброблення соціальної й іншої відкритої інформації та організації роботи з персоналом та користувачами.

СЗІ захищає соціальну інформацію при забезпеченні психологічної безпеки еліти, персоналу та населення України. Система СЦЗІ не є ні ідеологічною системою, ні політичним органом. Хоча одним із її побічних призначень є необхідність, хоча би частково, замістити вакуум, який утворився після краху соціалістичної ідеології та радянської політичної системи, у питаннях організаційно-психологічної роботи з персоналом, захисту соціальної інформації і підтримки соціального капіталу суспільства та забезпечення відтворення соціального капіталу в рамках інформаційної безпеки країни та її суб'єктів.

Система СЦЗІ не підміняє собою керування персоналом чи соціальний захист суб'єктів. Соціальний захист населення (СЗН), на відміну від СЦЗІ, – це система заходів й відповідних інститутів, призначених для захисту різних прошарків населення від економічної і соціальної деградації, пов'язаної з безробіттям, втратою або різким скороченням доходу, виробничою травмою або професійним захворюванням, хворобою, інвалідністю, старістю, втратою годувальника, народженням дитини і т. п. Система СЦЗІ відіграє не другорядну роль у веденні інформаційного протиборства і складає його невід'ємну частину. Інформаційне протиборство – це форма боротьби сторін, за якого використовуються спеціальні – політичні, економічні, дипломатичні, військові тощо – методи, способи й засоби для впливу на інформаційне середовище протилежної сторони та захисту власної в інтересах досягнення поставлених цілей.

Інакше кажучи, система СЦЗІ відіграє в інформаційному протиборстві приблизну ту ж роль, що громадянська оборона відіграє у військові сфері. При цьому в СЦЗІ є і самостійна роль – роль фактора забезпечення відтворення соціального капіталу й захисту соціальної інформації за нормального функціонування суспільства.

Інформаційно-психологічний вплив – це є ціле спрямоване виробництво та розповсюдження спеціальної інформації, яка спричиняє безпосередній позитивний чи негативний вплив на соціальний капітал, на функціонування та розвиток інформаційно-психологічного середовища суспільства, психіку та поведінку політичної еліти, персонал економічної й технічної інфраструктури та населення країни.

Завданням і цілями управління СЦЗІ є захист інформаційних ресурсів в інформаційній сфері від несанкціонованого доступу, зокрема, соціальної інформації, та забезпечення розумно достатнього рівня безпеки інформаційно-телекомунікаційних та електронних систем, де вона циркулює. Сфера СЦЗІ нормується державою, підконтрольна державі та суспільству і створюється для забезпечення національної безпеки, усталеного розвитку суспільства і людини в умовах інформаційних воєн та інформаційного впливу. Система СЦЗІ є складовою частиною безпеки національного інформаційного простору, соціального захисту суспільства, і суспільних об'єднань (соціального капіталу) та соціального захисту особи.

У класі СЦЗІ, крім технічних каналів впливу на інформаційні ресурси, розглядаються інформаційно-психологічні канали впливу на суб'єкти інформаційних відносин. Захисту підлягають інформаційний простір держави, інформаційне середовище суспільства та людини, а також інформаційні ресурси.

Засобом ефективності СЦЗІ можуть бути показники якості соціального капіталу та його відтворювання, результати аналізу соціальної інформації. СЦЗІ створюється на всіх рівнях: держави, суспільних організацій та спільнотах, підприємствах, організаціях, фірмах.

Висновки. Система соціального захисту інформації, формально замикає класи захисту інформації в симетричні та функціонально повні відносно розв'язуваних задач, класів систем захисту. Практично СЦЗІ забезпечує виконання завдань захисту соціальної та інших видів відкритої інформації на підприємствах і установах будь-якої форми власності, суспільних організаціях та держави в рамках системи національної безпеки і захисту інформаційного простору України.

УДК 004.056.5:004.7

П.В. Сироватка, М.С. Літош, Н.І. Довгич,
К.П. Ануфрієнко, кандидат технічних наук НАУ, асистент
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ СТЕГАНОГРАФІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ДО СУБ'ЄКТИВНИХ АТАК

У роботі розглядаються сучасні методи лінгвістичної стеганографії, аналізуються їх переваги та недоліки. Встановлюється, що суб'єктивні атаки суттєво впливають на рівень стеганографічної стійкості системи. Пропонується використання алгоритму синонімічних замін поряд з методом прихованих або замаскованих шифрів.

Серед усього спектру систем захисту інформації від несанкціонованого доступу особливе місце займають стеганографічні системи. На відміну від інших систем, вони опираються не лише на властивості самої інформації, а й на властивості її матеріальних носіїв, особливості вузлів її обробки, передачі й зберігання.

У даний час важко переоцінити необхідність приховування наявності самого факту передачі інформації, що захищається у діяльності більшості як державних, так і комерційних установ. Адже, криптографічні засоби на даний час можуть лише затягнути процес дешифрування даних зловмисником, але навряд чи зупинять його. Операції з важливими даними завжди пов'язані з підвищеним ризиком, особливо якщо інформація надзвичайно важлива, наприклад, ведення секретних переговорів, передача номерів рахунків, кодів доступу і т.п.

Питаннями захисту конфіденційної інформації займається стеганографія – наука про приховування інформації шляхом збереження в таємниці самого факту передачі [1]. Тобто приховування одних повідомлень в інших повідомленнях. У якості контейнера (звичайного повідомлення, придатного для вбудовуваної інформації, що захищається) використовуються типові документи, мультимедійні дані та звичайний текст.

Стеганографічні методи захисту інформації в останні роки розвиваються досить активно, постійно з'являються нові методи приховування інформації і нові методи стеганоаналізу. Зростає і загальне число як зарубіжних, так і вітчизняних публікацій. Разом з тим, аналіз останніх дозволяє говорити про те, що переважна більшість досліджень [2, 3] спрямована на мультимедійний контент. Хоча на даний момент величезна кількість інформації представлена в текстовому вигляді: книги, статті, електронне листування, документи, звіти і багато іншого, і всі ці матеріали можуть бути ефективно використані в якості контейнерів для прихованої передачі інформації [3]. Не дарма величезною популярністю в процесі приховування інформації зараз користується лінгвістична стеганографія, яка дозволяє приховати кодовану довільну інформацію у тексти, спираючись на особливості мови та лінгвістичні ресурси.

Розглядаючи роботи зарубіжних фахівців [1-3], присвячені текстовій та лінгвістичній стеганографії, можна помітити, що автори цих робіт чітко розмежовують методи та алгоритми стеганографії із захисту інформації, що приховується від "роботів" і від людей. Перші спрямовані на захист інформації при тотальному скануванні всієї кореспонденції програмним пошуковими роботами і аналізаторами, другі спрямовані на захист інформації при уважному перегляді тексту людиною.

Аналіз найбільш популярних стеганографічних програм, які дозволяють вбудовувати інформацію в текстові файли (FFENCODE, SecureEngine, Центуріон), а також аналіз статистичних даних [4] вказують на нестійкість таких стегосистем (таємність забезпечується за рахунок збереження в таємниці алгоритму вбудовування інформації, що суперечить принципу Кергофа). Звідси виникає необхідність створення лінгвістичної стегосистеми, яка б була стійкою до атак стегоаналітиків (противників).

На сьогодні відомо декілька методів лінгвістичної стеганографії [3] (див. рис. 1).

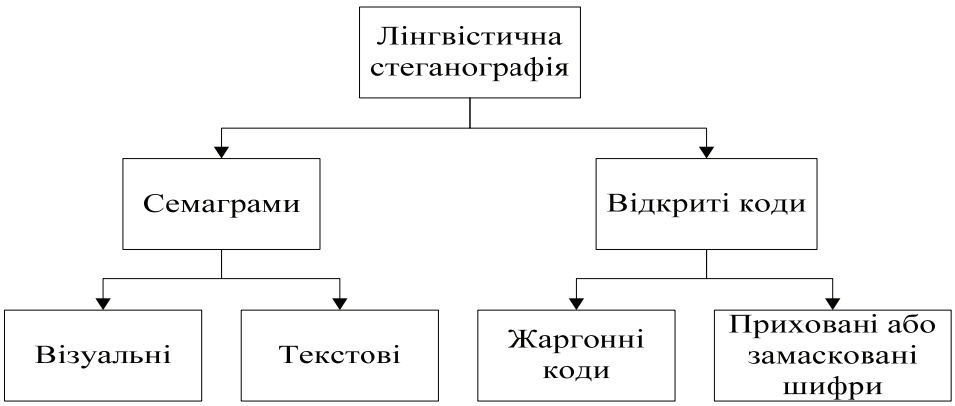


Рис.1. Класифікація методів лінгвістичної стеганографії

Семаграми приховують інформацію за допомогою символів або знаків. *Візуальна семаграма* використовує нешкідливі на перший погляд чи звичайні фізичні об'єкти для передачі повідомлення, наприклад, “кривульки” або розташування елементів на робочому столі або веб-сайті. *Текстова семаграма* приховує повідомлення, змінюючи зовнішній вигляд тексту-контейнера, наприклад, ледь помітні зміни в розмірі або типі шрифту, додаючи додаткові пробіли або різні завитки в буквах або рукописному тексті.

Відкриті коди приховують повідомлення в “законному” повідомленні-контейнері такими способами, які не видимі для непідозрюваного спостерігача. Таке повідомлення-контейнер іноді називають відкритою комунікацією, тоді як приховане повідомлення – таємною комунікацією. Ця категорія підрозділена на жаргонні коди і приховані або замасковані шифри. Жаргонний код, як і передбачає назва, використовує мову, яка зрозуміла одній лише групі людей, але не має сенсу для інших. *Жаргонні коди* включають в себе нанесення піктограм (символи, використовувані для вказівки присутності та типу сигналу бездротової мережі), таємну термінологію, або невинну розмову, яка передає особливий сенс внаслідок того, що факти відомі тільки співрозмовникам. *Приховані чи замасковані шифри* приховують повідомлення в носії-контейнері так, щоб його міг відновити будь-який, хто знає секрет того, як воно було приховано.

Існуюча на сьогоднішній день велика різноманітність різних форматів зберігання та подання електронних документів надає широкі можливості для побудови на їх основі систем прихованої передачі інформації. Разом з тим більшість стеганографічних методів виявляються нестійкими у разі збереження електронного документа-контейнера в іншому форматі. І також більшість з цих методів легко піддаються суб’єктивним атакам зловмисників. При цих атаках [4] зловмисник уважно розглядає стегосистему, намагаючись визначити “на око”, чи є в ній приховане повідомлення. Ясно, що подібна атака може бути проведена лише проти абсолютно незахищених стегосистем. Тим не менш, вона, напевно, найбільш поширена на практиці, принаймні, на початковому етапі розкриття стегосистеми. Первинний аналіз також може включати в себе наступні заходи:

1. Первинне сортування стего за зовнішніми ознаками.
2. Виділення стего з відомим алгоритмом вбудовування.
3. Визначення використаних стегоалгоритмів.
4. Перевірка достатності обсягу матеріалу для стегоаналіза.
5. Перевірка можливості проведення аналізу за окремими випадками.
6. Аналітична розробка стегоматеріалів. Розробка методів розкриття стегосистеми.
7. Виділення стего з відомими алгоритмами вбудовування, але невідомими ключами.

Також, варто зазначити, що існують ще й синтаксичні та семантичні методи лінгвістичної стеганографії, які ґрунтуються на зміні пунктуації, стилю і структури тексту, що є неприйнятним в багатьох сферах суспільного життя. Для людини такі тексти виглядають повною нісенітницею з граматичними помилками, що є неприйнятним. Також і розробка

програмних реалізацій даних методів для української та російської мови викликає ряд труднощів, оскільки повинна зберігатися осмисленість і однозначність тексту документа-контейнера.

На фоні цих методів найбільш стійкими відносно суб'єктивних атак виступають приховані або замасковані шифри. Але й вони мають свої певні недоліки – проблеми, які виникають при формуванні стеганограм за певними правилами, в яких є важливим порядок розміщення відповідних букв, символів, цифр на відповідних місцях в контейнері.

Тому, *метою* даної роботи є підвищення рівня стеганографічної стійкості до суб'єктивних атак, шляхом використання особливостей лінгвістичної стеганографії.

Ситуацію можна було б покращити використовуючи паралельно з класичними методами прихованих або замаскованих шифрів лінгвістичної стеганографії – алгоритму синонімічних замін. Розглянемо його детальніше [2].

Вхідними даними в пропонований алгоритм служить двійкова інформація, призначена для шифрування, і що має текст, за обсягом приблизно в 200 разів більший, ніж у шифруємої інформації. Формат тексту довільний, але він орфографічно і синтаксично правильний, щоб не спровокувати виправлень при передачі. Послідовності цифр або особистих імен допускаються, але вони збільшують необхідну довжину тексту. Алгоритм включає наступні кроки.

Пошук синонімічних слів. У тексті відшукуються слова і багатослівні вираження, що мають синоніми. Якщо одночасно знайдена послідовність слів і її підпослідовність, перевага віддається більшій.

Формування об'єднаних синонімічних груп. Послідовно розглядаються синонімічні слова тексту. Якщо у відповідній синонімічної групі тільки абсолютні синоніми, вона приймається беззастережно. Якщо в групі є хоч один відносний синонім, всі такі синоніми піддаються операції транзитивного замикання. При замиканні для кожного синоніма перевіряється, чи не є він членом будь-якої іншої синонімічної групи. Якщо це так, додаткова група приєднується до початкової без повторів. Далі приєднані синоніми проглядаються на приналежність до інших, ще не розглянутих синонімічних груп, і так до вичерпання поповнень. Замикання здійснюється також через омоніми. Аналізується, чи не є омонімічне вихідне текстове слово або який-небудь член його синонімічної групи. Якщо це так, і якщо ще не розглянутий омонім має синоніми, залучається група синонімів цього омоніму. Кожна знову залучена група використовується для розширення і т.д. Процес кінцевий, але іноді дає велику об'єднану групу. Транзитивне замикання необхідно, оскільки робить складу об'єднаної групи не залежать від того, з якого члена замикання починається.

Перевірка словосполучень. Якщо група містить лише абсолютні синоніми, вона не перевіряється на контекст, а для перевірки на сполучуваність з нею інших слів може братися будь-який її член. Якщо ж група має відносні синоніми s_i, вони підлягають перевірці на сумісність із зовнішніми повнозначними словами w_j ліворуч і праворуч від об'єктів аудиту групи. Якщо зовнішнє слово w_i не синонімічне або має лише абсолютні синоніми, то перевіряється, з якими з s_i воно утворює однотипні словосполучення. Ті s_i, які не формують словосполучень з w_j, відкидаються. Якщо зовнішнє слово w_j саме належить об'єднаній групі з елементами w_{jk}, то перевіряються всі однотипні словосполучення пар $\{w_{jk}, s_i\}$ при всіх i і k. Відсутність словосполучення хоча б з одним зовнішнім елементом веде до відкидання перевірки елемента.

Кодування. Послідовність профільтрованих груп сканується. Якщо їх розміри кратні степеню двійки або скорочені до найближчого степеня двійки, для чергової групи довжиною 2^n з закодованого повідомлення виділяється склад довжини n і його двійкове значення береться як внутрішньогруповий номер синоніма і підставляється в текст замість вихідного. Та ж операція повторюється для всіх груп уздовж тексту. Якщо є групи, по довжині не рівні ступеню двійки, всі довжини груп перемножуються і береться ступінь 2^N, найближчі до отриманого добутку вниз. Потім від кодованої інформації відсікається склад довжини N і з нього шляхом послідовних поділів та знаходжень залишків знаходяться номери омонімів для заміни синонімічних слів у тексті. Якщо текстовий синонім при кодуванні виявився

заміненим, то в загальному випадку перевизначаться морфосинтаксичні характеристики замінника і контексту.

При цьому така система формування стеганограми дозволяє зберегти зовнішню “безневинність” і осмисленість тексту-контейнеру [5].

Також є доцільним і шифрування даних перед відправкою певним криптографічним алгоритмом, що безумовно підвищить рівень стійкості. Створену систему можна буде використовувати в багатьох сферах суспільного життя, таких як банківська, фінансова, оборонна галузь та інші галузі науки та техніки. Вона зможе забезпечити гарантовану передачу цифрових даних будь-якими каналами, з мінімальною можливістю злому, адже на відміну від багатьох існуючих стеганографічних систем, які не можуть протистояти атаці стегоаналітика, ця система буде проходити відповідну обробку створеної стеганограми засобами синонімічних словників.

Висновки

Використання алгоритму синонімічних замін поряд зі звичайними методами лінгвістичної стеганографії значно підвищить стеганографічну стійкість стеганограм перед суб’єктивними атаками зловмисників, завдяки тому що така система формування стеганограми дозволяє зберегти зовнішню “безневинність” і осмисленість тексту-контейнеру. Створена система зможе протистояти тотальному скануванню програмними пошуковими роботами і аналізаторами, а також уважному перегляду тексту людиною. Вона зможе забезпечити гарантовану передачу цифрових даних будь-якими каналами, з мінімальною можливістю злому.

Список літератури

1. Большаков И. А. Два метода синонимического перефразирования в лингвистической стеганографии. / И.А. Большаков // Центр Компьютерных Исследований. – 2007. – № 1. – 143 с.

2. Мельников Ю. Банковские технологии / Мельников Ю., Колошеин Ю. – М. : Наука, 2003. – С. 35-37.

3. Кесслер Г. Стеганография для судебного исследователя. Краткий Обзор. (Перевод: Капинус О.В., Михайлов И.Ю., Бочков Д.С.) / Гари Кесслер // Компьютерно-техническая экспертиза. – 2008. – №2. – С. 13-25.

4. *Мельчук И.А*. Опыт теории лингвистических моделей “Смысл=Текст”: Семантика, синтаксис / И.А. Мельчук. – М. : Наука, 1974. – 314 с.

5. Большаков И.А. Тезаурус в системах подготовки текстов: каким ему быть? / И.А. Большаков // Междунар. форум по информ. и джум. – 1991. – Т №2. – С. 31.

УДК 004.05

С.С. Козирєв, к.т.н. (Національний університет кораблебудування, Україна)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АПАРАТНОЇ БЕЗПЕКИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

Побудовано модель апаратних загроз комп'ютерної мережі. Проаналізовано вплив технічних характеристик комп'ютерів та їх модулів на захищеність комп'ютерних мереж. Розглянуто моделі гарантоспроможних (dependability) комп'ютерних мереж. Запропоновано методи і засоби забезпечення апаратної безпеки.

Постійний розвиток, розширення та підвищенням навантаження на об'єкти ком'ютерних мереж викликає необхідність в адекватних та сучасних засобах моніторингу їх технічного стану для забезпечення гарантоспроможності. У зв'язку з розвитком технологій електронних платежів, "безпаперового" документообігу та інших, збій локальних мереж може паралізувати роботу цілих корпорацій і банків, що призводить до відчутних матеріальних втрат.

Захист даних у комп'ютерних мережах стає однією з найгостріших проблем. На сьогодні сформульовано три базові принципи інформаційної безпеки: цілісність даних - захист від збоїв, що ведуть до втрати інформації, а також неавторизованого створення або знищення даних; конфіденційність інформації; доступність для всіх авторизованих користувачів.

При розгляді проблем захисту даних в мережі перш за все виникає питання про класифікацію збоїв, які можуть призвести до знищення або небажаної модифікації даних.

Модель апаратних загроз комп'ютерної мережі виглядає таким чином: збої кабельної системи; перебої електроживлення; побічні випромінювання збої дискових систем; збої систем архівації даних; збої роботи серверів, робочих станцій, мережевих карт і т. д.;

Технічні характеристики комп'ютерів та їх модулів суттєво впливають на захищеність комп'ютерних мереж. Основними модульними складовими комп'ютера є: процесор; материнська плата; оперативна пам'ять (ОЗП); жорсткий диск; cd/dvd пристрій; монітор; відеокарта; звукова карта; мережева картка; блок живлення; usb-пристрої; ups-пристрій.

Захищенність комп'ютерної мережі може бути в деякій мірі забезпечена технічними характеристиками модулів комп'ютера. До захисних характеристик усіх складових можна віднести: апаратний захист від перегріву; додатковий охолоджувальний пристрій; апаратний захист від підвищеної напруги; перевірка контрольної суми даних, що обробляється модулем; додатковий час роботи при максимальному граничному навантаженні; підтримка програмних засобів комунікації з апаратним модулем. Окрім того, модулі, з яких складається комп'ютер повинні мати спеціальні захисні функції для продовження роботи у випадку позаштатних ситуацій. Серед необхідних функцій потрібно виділити: захист за допомогою BIOS, встановлення додаткового охолодження, захист від перенапруги за допомогою UPS.

Існують різні моделі гарантоспроможних (dependability) комп'ютерних мереж, які визначаються міжнародними стандартами в області надійності. Надійність можна розглядати, як таку що складається з трьох елементів: атрибути - спосіб оцінки гарантоспроможності системи; загрози - розуміння речей, які можуть вплинути на гарантоспроможність системи; заходи безпеки - шляхи підвищення гарантоспроможності системи.

Атрибути оцінюють якості системи з точки зору загальної надійності з використанням якісних і кількісних показників, і поділяються на: доступність - готовність до того, щоб коректно функціонувати; надійність - безперервність коректного функціонування; безпечність - відсутність катастрофічних наслідків для користувачів і системного середовища; цілісність - відсутність виконання неналежних зміни системи; відновлюваність - здатність до модифікування та обслуговування. Із вищенаведених атрибутів тільки доступність і надійність обчислюються шляхом прямих вимірювань, а інші є суб'єктивними.

Загрози – події, які можуть вплинути на систему і стати причиною зниження гарантоспроможності. Вони класифікуються наступним чином: проектувальні і концептуальні поми-

лки - це дефекти в системі; помилка під час виконання – це різниця між бажаною поведінкою системи та фактичною; повне виведення з ладу – це стан системи, в якому вона виявляє властивості, які не відповідають або повністю протилежні заявленим специфікаціями.

До засобів забезпечення гарантоспроможності можна віднести: запобігання; видалення; прогнозування; стійкість.

Запобігання має на меті попередження появу або привнесення помилок в систему. Цей засіб виконується на стадії розробки системи та вибору способів реалізації системи.

Помилки видалення можуть бути розділені на дві підкатегорії: видалення в ході розробки та видалення під час використання. Видалення на стадії розробки вимагає постійних тестів та перевірок, для того щоб помилки були знайдені до введення системи в виробниче користування. Як тільки система починає використовуватися, необхідно фіксувати та нотувати помилки з метою виправлення їх під час планових робіт з покращення системи.

Прогнозування передбачає можливі помилки з метою їх подальшого видалення або пом'якшення наслідків, спричинених помилками.

Стійкість забезпечується наявністю механізмів, які дозволять системі здійснювати свої звичні функції навіть за наявності помилок, не зважаючи на те, що якість функцій може бути нижчою.

Заходи забезпечення гарантоспроможності покликані зменшити наявність помилок, які помічає користувач. Знайдені помилки записують за певний проміжок часу та аналізують частоту їхньої появи для виміру ефективності обраних заходів.

Методи і засоби забезпечення апаратної безпеки: аналіз та покращення стану кабельної системи; аналіз та покращення структури системи електроживлення; аналіз та покращення системи резервування та дублювання інформації; створення резерву обладнання на випадок відмови; планування періодичного огляду складових комп’ютерної мережі; моніторинг функціонування мережі з метою визначення поточного стану та прогнозування.

Детальний аналіз вказаних методів показав, що найбільш ефективним є моніторинг функціонування мережі. Система моніторингу повинна забезпечувати постійне спостереження за станом вузлів комп'ютерної мережі: виконувати перевірку доступності мережевих ресурсів і служб, стежити за роботою серверного і комунікаційного обладнання; у разі порушення нормальної роботи повідомляти адміністратора, використовуючи різні засоби оповіщення. Крім відправлення повідомлення адміністратору, система моніторингу може бути налаштована таким чином, щоб проводити обробку подій, тобто відмов у роботі елементів мережі та вживати заходів щодо їх усунення шляхом перезапуску будь-якої програми, виконання заданого сценарію і т.п. Ще один аспект - планування розвитку мережі. Корисно мати на руках статистику що відбулися в мережі подій за тривалий період часу. Такого роду дані допомагають у знаходженні вузьких місць, а також дають ясну і вичерпну картину при аналізі і плануванні змін. Детальна інформація про стан сервісів, вузлів, обладнання економить час адміністратора і допомагає йому у прийнятті рішень. На даний час існує велика кількість програмних комплексів, які використовуються для моніторингу інформаційних мереж, комп'ютерних сервісів, обладнання віддалених комп'ютерів.

Висновки. Аналіз існуючих пропрієтарних моніторингових систем, систем з відкритим кодом, безкоштовних та платних показав, що вони найчастіше занадто складні, бо мають набагато більше функцій, ніж потрібно для задачі технічного моніторингу, а тому потребують значного часу на вивчення документації та встановлення бази даних, вимагають значного збільшення споживання ресурсів, складні в налаштуванні. Таким чином, написання своєї авторської програми для цілей моніторингу технічного стану локальної мережі [1] стає економічно доцільним вирішенням поставленої задачі.

Список літератури

1. Єгоров О.П., Козирєв С.С. Система моніторингу технічного стану комп'ютерної мережі // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів, молодих науковців і студентів „Інформаційно-керуючі системи і комплекси”, Миколаїв, 2010. – С. 51-55.

УДК 378.162.33+65.012.8

В.С. Блінцов, професор
С.М. Нужний, кандидат технічних наук
Д.А. Баша, інженер
(Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв, Україна)

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ «ОСНОВИ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ВТКМ»

В роботі проведено аналіз та визначені основні вимоги до лабораторного комплексу по підготовці студентів в галузі знань «інформаційна безпека». Запропонована структура лабораторного комплексу та визначені основні принципи його побудови.

Постійне збільшення кількості і якості пристроїв передачі інформації по відкритим телекомунікаційним мережам (ВТКМ), необмежена можливість вільного виходу в Internet, як зі стаціонарного так і з мобільного телефонного апарату (ноутбуку, смартфону та інших), використання супутникових інформаційних систем і т.д. призвело до зростання об'ємів конфіденційної інформації, яка циркулює в ВТКМ.

Широке застосування в світовій практиці персоніфікованої інформації набуло і в інших формах. Так, наприклад, в країнах Балтії вже декілька років функціонують державні системи електронного голосування на виборах всіх рівнів. До таких систем відноситься також міжнародні кадрові інформаційні системи обліку (наприклад, моряків), пошуково-криміналістична система Interpol та багато інших.

До специфічних умов України необхідно віднести широке залучення для створення вказаних вище систем як державних так і приватних підприємств, в тому числі для забезпечення функціонування ліній передачі інформації. При цьому специфікою України є створення таких систем на фоні приватизації одного з найважливіших з її учасників – Укртелекому. Тобто, на деякий час, рівень захищеності конфіденційної інформації, як приватного так і державного характеру, значно знизиться. Цьому буде сприяти системна перебудова в самому Укртелекомі і відтік висококваліфікованих кадрів, в тому числі в тіньові і кримінальні структури.

Все вище сказане ставить задачу необхідності підвищення кваліфікаційного рівня студентів, які навчаються в галузі знань «інформаційна безпека», за рахунок більш широкого використаннях сучасних методик розрахунку та проектування систем ТЗІ, застосовування пристроїв протидії НСД до ІзОД в ВТКМ та визначення демаскуючих факторів технічних каналів витоку інформації.

Для вирішення поставленої задачі на кафедрі електрообладнання суден та інформаційних технологій планується створення лабораторного комплексу «Основи технічного захисту інформації в ВТКМ», яка повинна забезпечити комплексну підготовку бакалаврів та спеціалістів в галузі знань «інформаційна безпека», за трьома напрямами підготовки.

Задача створення як окремих дослідницьких лабораторних стендів так і спеціалізованих лабораторій з метою підготовки кваліфікованих спеціалістів для відділів ТЗІ державних та приватних організацій і підприємств розглянута в [1-5] та інші. Однак, аналіз показує, що в більшості випадків ставиться задача дослідження вузькоспеціалізованих технічних засобів перетворення та передачі інформації по ВТКМ. Яскравим прикладом такого підходу є лабораторії дослідження захищеності інформації в АС першого – третього рівнів. Такі лабораторії оснащені сучасними програмними, апаратними та програмно-апаратними комплексами, які забезпечують заданий рівень безпеки інформації. Однак, в більшості випадків, в них концептуально не передбачено наявність інших каналів несанкціонованого доступу до інформації (візуально-оптичного, акустичного, ПЕМВН і т.д.), що циркулює в контрольованій зоні (зоні розміщення АС), по ВТКМ, які використовуються для штатної роботи системи.

Одночасно з цим, аналіз науково-технічної літератури показав відсутність матеріалів, пов’язаних зі створенням сучасних лабораторій для дослідження захищеності інформації при комплексному використанні декількох різнотипних ВТКМ. Так, наприклад, в наш час є широко застосованим метод створення локальної мережі організації з використанням Wi-Fi, Wimax чи Bluetooth та використання електропровідних (UTP-5+ та UTP-6) чи оптоволоконних для ліній зв’язку для зовнішнього підключення. При цьому вимоги до захисту інформації від витоку по каналу ПЕМВН для таких систем фактично не виконуються, в першу чергу, із-за відсутності відповідного теоретичного обґрунтування та практичних наробітків спеціалістів і як наслідок цього – відсутності методик розрахунків і проведення досліджень.

Метою роботи є розробка концепції лабораторного комплексу для дослідження сучасних методів побудови КСЗІ для інформації, яка передається по ВТКМ любої конфігурації, в тому числі за умови використання зловмисником комплексних методів для отримання несанкціонованого доступу до ІзОД.

Лабораторний комплекс планується до використання в учбовому процесі при підготовці фахівців за напрямком «Інформаційна безпека» по спеціальностях 170101…03, а також для проведення перепідготовки фахівців відділів «ТЗІ» чи їх аналогів та проведення науково-дослідних робіт і експертиз обладнання.

Створення сучасних телекомунікаційних систем неможливе без комплексного використання різнотипних мереж. Їх різноманітність останнім часом збільшується кожні декілька років. Особливо швидкими темпами йде розвиток цифрових технологій з передачею великої кількості інформації по радіоканалу та використання аналогових систем на понад високих частотах. Одночасно з цим йде й подальший розвиток електропровідних та оптиковолоконних технологій передачі інформації.

Така різноманітність сприяє зловмисникам, даючи можливість використання як моноканалів для доступу до ІзОД, так і комбінованих. При цьому необхідно враховувати можливість виникнення як природніх так і штучно створюваних каналів витоку інформації.

На рис. 1 наведено структурна схема лабораторного комплексу для дослідження методів протидії несанкціонованому доступу до інформації, яка передається по ВТКМ. Схема складається з трьох базових блоків:

– блок 1 «Дослідження принципів протидії НСД до ІзОД, яка передається по провідним ВТКМ»

– блок 2 «Моделювання перехоплення інформації (СМПІн), що передається по дротяних і радіочастотним ВТКМ»

– блок 3 «Дослідження принципів протидії НСД до конфіденційної інформації, яка передається по дротяних і радіочастотним ВТКМ (зв'язок через Інтернет)»

Блок "Дослідження принципів протидії НСД "Телефон"" складається з телефонного апарату, засобу контролю фізичних параметрів лінії і захисту інформації від НСД. Призначений - для моделювання обміну інформацією між абонентами по дротяній ВТКМ, контролю фізичних параметрів дротяної ВТКМ і захисту інформації, яка передається по лініям в мережі, від НСД інженерно-технічними і криптографічними методами [7]. До складу блоку входить два модуля «Дослідження принципів протидії НСД «Телефон»».

Блок "Дослідження принципів протидії НСД "Інтернет"" складається з ПЕОМ і пристроїв підключення Інтернет-ресурсів. Призначений - для моделювання обміну інформацією між абонентами (АС2), у тому числі, з виходом в Інтернет (АС3), контролю фізичних параметрів радіочастот і захисту інформації, яка передається в мережі, від НСД інженерно-технічними і криптографічними методами.

Блок "Моделювання перехоплення інформації" складається з моделей пристроїв НСД до ВТКМ. Призначений - для моделювання пристроїв знімання інформації з дротяних і радіочастотних ВТКМ. Кількість модулів визначається переліком задач, дослідження яких виконується. Модулі також використовуються для моделювання комплексного впливу фізичних параметрів середовища на канал передачі інформації.

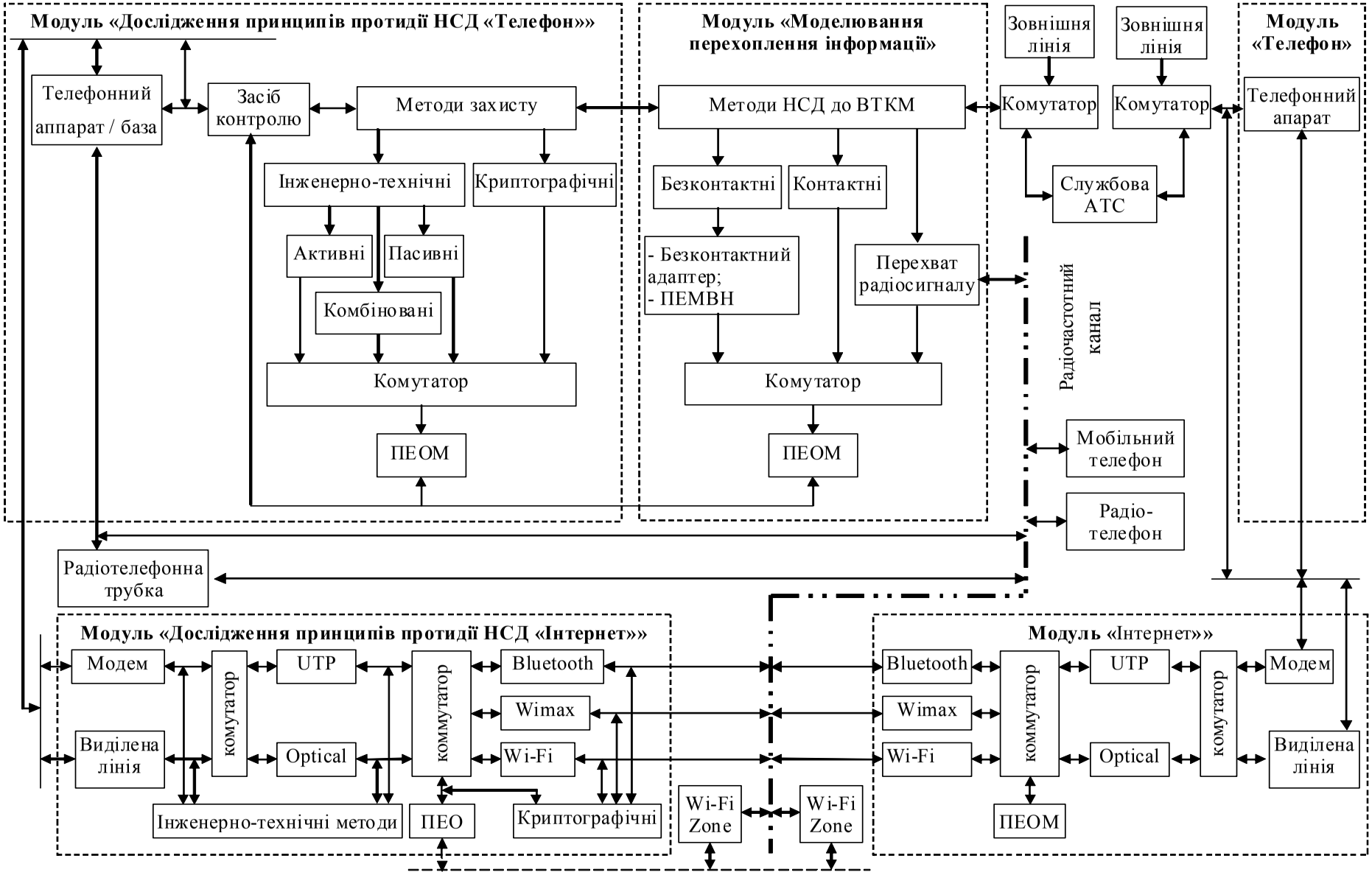


Рис. 1. Структурна схема лабораторії по дослідженню методів протидії НСД до ІзОД, яка передається по ВТКМ

На основі вищесказаного, формуються рекомендації по забезпеченню лабораторії лініями ВТКМ :

- 2 виділених телефонних лінії з міськими номерами (2 номери);
- 2 лінії від службової АТС (2 номери);
- WiFi Zone (може входити до складу стенду "Дослідження принципів протидії НСД "Інтернет"");
- Wimax Zone (може входити до складу стенду "Дослідження принципів протидії НСД "Інтернет"");
- мобільний телефон (може входити до складу стенду "Дослідження принципів протидії НСД "Телефон"");
- радіотелефон (може входити до складу стенду "Дослідження принципів протидії НСД "Телефон"");
- комплект "телефонний апарат (база) з радіотелефонною трубкою" (може входити до складу стенду "Достти лідження принципів протидії НСД "Телефон"");
- телефонний апарат (може входити до складу стенду "Дослідження принципів протидії НСД "Телефон"").

Висновки

В роботі проаналізовано сучасний стан розвитку технічних засобів і умов їх використання при побудовах ВТКМ, що дозволило визначити основні напрями вирішення поставленої задачі – побудови лабораторного комплексу по дослідженню методів захисту ІзОД, яка передається по ВТКМ.

В якості базового підходу прийнято модульний метод побудови комплексу, що дає змогу виконувати дослідження як окремих частин (модулів), так і дослідження багаторівневих мереж.

Такий підхід дозволить вирішити наступні задачі:

– розвиток теоретичних основ проектування комплексних систем захисту інформації (КСЗІ) при використанні різнотипних розгалужених мереж передачі інформації в АС–1, 2 і 3;

– розробка методик розрахунку взаємовпливу різнотипних мереж передачі інформації з метою визначення оптимальних умов для її обробки та передачі за умови забезпечення заданого рівня захищеності, цілісності та доступності;

– розробка моделей загроз для конфіденційної інформації, яка циркулює в інформаційній мережі, за умови заданої вірогідності використання зловмисником комбінованих атак та сучасних засобів і методів перехоплення інформації;

– підвищення рівня підготовки спеціалістів, які навчаються за напрямом «Інформаційна безпека», та підвищення кваліфікації на курсах перепідготовки.

Список літератури

1. *Торокин А.А.* Инженерно-техническая защита информации. – М.: Гелиос АРВ, 2005. – 960 с.

2. *Зайцев А.П., Шелупанов А., Мещеряков Р. и др.* Техническая защита информации: Учебник для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 615 с.

3. *Сидорин Ю.С.* Технические средства защиты информации: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. 141 с.

4. Технические средства и методы защиты информации: Учебник для вузов / *Зайцев А.П., Шелупанов А.А., Мещеряков Р.В. и др.*; под ред. А.П. Зайцева и А.А. Шелупанова. – М.: ООО «Издательство Машиностроение», 2009 – 508 с.

5. *Ленков С.В.* Методы и средства защиты информации. В 2-х томах / Ленков С.В., Перегудов Д.А., Хорошко В.А. Под ред. В.А. Хорошко. – К.: Арий, 2008.

6. НД ТЗІ 2.3-003-2001 – Технічний захист мовної інформації в симетричних абонентських аналогових телефонних лініях. Засоби активного приховування мовної інформації. Генератори спеціальних сигналів. Методика випробувань

УДК: 681.3

О.А. Щелконогов, старший преподаватель,
(Институт Автоматики и Электротехники НУК, Украина)

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВСКРЫТИЯ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

В статье рассматривается использование технологии сенсорных сетей при разработке системы контроля вскрытия аппаратуры (СКВА). Проанализированы существующие системы, указаны их недостатки. Предложена СКВА на основе технологии ZigBee , описаны ее структура и алгоритм работы.

Система контроля вскрытия аппаратуры (СКВА) предназначена для перекрытия доступа к внутреннему монтажу с целью осуществления несанкционированных действий. Такими действиями могут быть:

- нарушение целостности аппаратуры, например, вывод ее из строя;
- изменение режима работы аппаратуры, в т.ч. приводящее к возможности изменения программного обеспечения;
- загрузка постороннего программного обеспечения;
- встраивание дополнительных несанкционированных технических средств.

Кроме того, использование СКВА позволяет контролировать соблюдение технологической дисциплины, когда при техническом обслуживании, профилактике или ремонте может быть оставлен незакрытым какой-нибудь корпус, кожух или не вставлен разъем.

СКВА, построенные по традиционному принципу, описаны в [1-3]. В них можно выделить 3 основные составляющие:

- датчики вскрытия аппаратуры;
- цепь сбора сигналов;
- специальное рабочее места или устройство централизованного контроля.

В [1] рассмотрены требования к датчикам, различные схемы построения цепей сбора сигналов, а также приведены примеры вариантов функциональных схем СКВА на дискретных элементах. В качестве датчиков используются обычные микропереключатели или герконы. Ресурс на количество срабатываний особой роли не играет, т.к. корпуса открываются нечасто. Герконы могут иметь преимущество, т.к. их не надо настраивать с такой точностью, как микропереключатели.

В [3] рассмотрена реализация СКВА с использованием микроконтроллеров, обладающая хорошей масштабируемостью, гибкостью и удобством эксплуатации. Основными недостатком предложенных систем является:

1. К каждому контролируемому объекту должны быть подведены линии связи, которые, с одной стороны, увеличивает стоимость системы на величину стоимости линий связи и работ по их прокладке и обслуживанию, а с другой стороны, демаскирует систему защиты.
2. При перемещении контролируемого объекта необходимо или заранее обеспечивать чрезмерность по длине линий связи, или прокладывать новые.
3. Прохождение линий связи по неконтролируемой территории облегчает злоумышленнику задачу несанкционированных действий.

В [2] предлагается использовать уже имеющиеся сетевые кабели (2 неиспользуемые витые пары в них). Такой подход снимает часть проблем. Однако это требует использования устройств сбора сигналов с датчиков, составляющих пару каждому хабу, вмешательство или в аппаратную часть сетевых адаптеров или использование специальных переходников для разделения сигналов сети и сигналов СКВА. Кроме того, при защите устройств, не имеющих подключения к компьютерной сети или имеющих беспроводное подключение, все равно потребуются свои кабельные линии связи.

Одним из основных элементом СКВА, определяющих стоимость, масштабируемость, область охвата, надежность и безопасность являются цепи сбора сигналов. Поэтому представляется целесообразным в принципе изменить подход к этому элементу СКВА: использовать не проводную, а беспроводную среду передачи данных. Это позволяет:

- снизить стоимость системы за счет отсутствия проводов и кабелей;
- обеспечить быстрое развертывание СКВА;
- не ограничивать месторасположение объектов контроля кабельными линиями;
- повысить уровень маскировки СКВА.

Для этих целей хорошо подходит технология беспроводных сенсорных сетей ZigBee (на основе стандарта IEEE 802.15.4 – Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPAN)). Существуют и другие беспроводные технологии, однако, их сравнительный анализ на предмет использования для СКВА вне данной статьи.

Технология ZigBee имеет следующие, полезные для рассматриваемой области применения, свойства:

1. Возможность реализации практически любой топологии, включая сотовую.
2. Низкая стоимость (заявленная).
3. Низкое энергопотребление.
4. Хорошая масштабируемость.
5. Устойчивость к отказам и свойство самоорганизации.
6. Рабочая частота в разрешенном нелицензируемом диапазоне.
7. Маленькие физические размеры устройств.

Кроме того, ее использование позволяет достичь следующих целей:

8. Стандартная технология позволяет обеспечить совместимость с другими подсистемами защиты информации на основе компьютерных технологий.
9. Встроенные средства защиты на уровне технологии снижают усилия по защите самой СКВА от несанкционированного доступа.

Имеется и ряд недостатков. Кроме тех, которые присущи беспроводной среде как таковой, стоит отметить следующие:

1. Отсутствие единого поставщика стека протоколов ZigBee, т.е. могут быть проблемы при взаимодействии устройств разных производителей.
2. Потенциальные уязвимости в механизмах самовосстановления.
3. Отсутствие контроля за маршрутизацией на уровне приложений.

Структура сети сбора сигналов строится по стандартной схеме для сенсорных сетей (рис. 1).

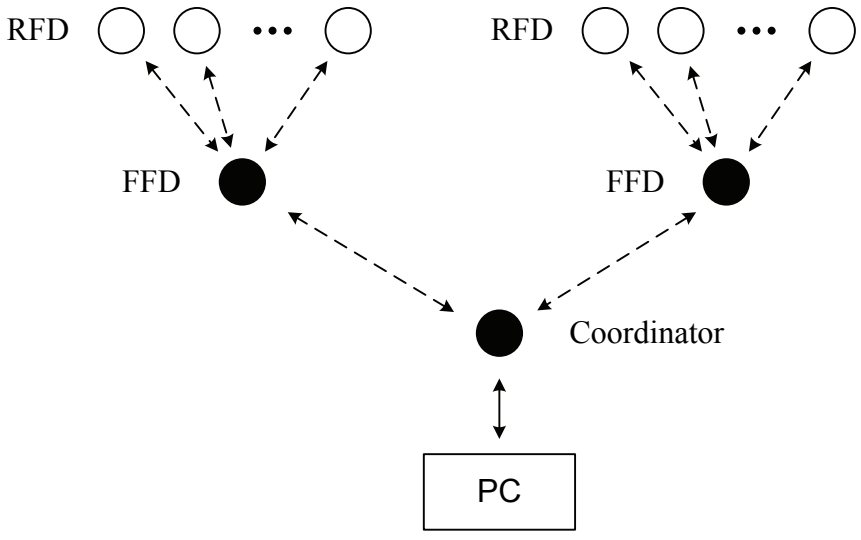


Рис. 1. Структура сети сбора сигналов СКВА

В качестве оконечных устройств, установленных внутрь корпусов, используются устройства с ограниченным набором функций (Reduced Function Device, RFD). Полнофункциональное устройство (Full Function Device, FFD) устанавливается одно на помещение. Координатор сети (Coordinator) инициирует процесс самоорганизации сети. Терминальная станция (PC), предназначена для получения, хранения и обработки данных о состоянии сети сбора сигналов (беспроводной сети).

Упрощенный алгоритм функционирования сети сбора сигналов можно представить рис.2.

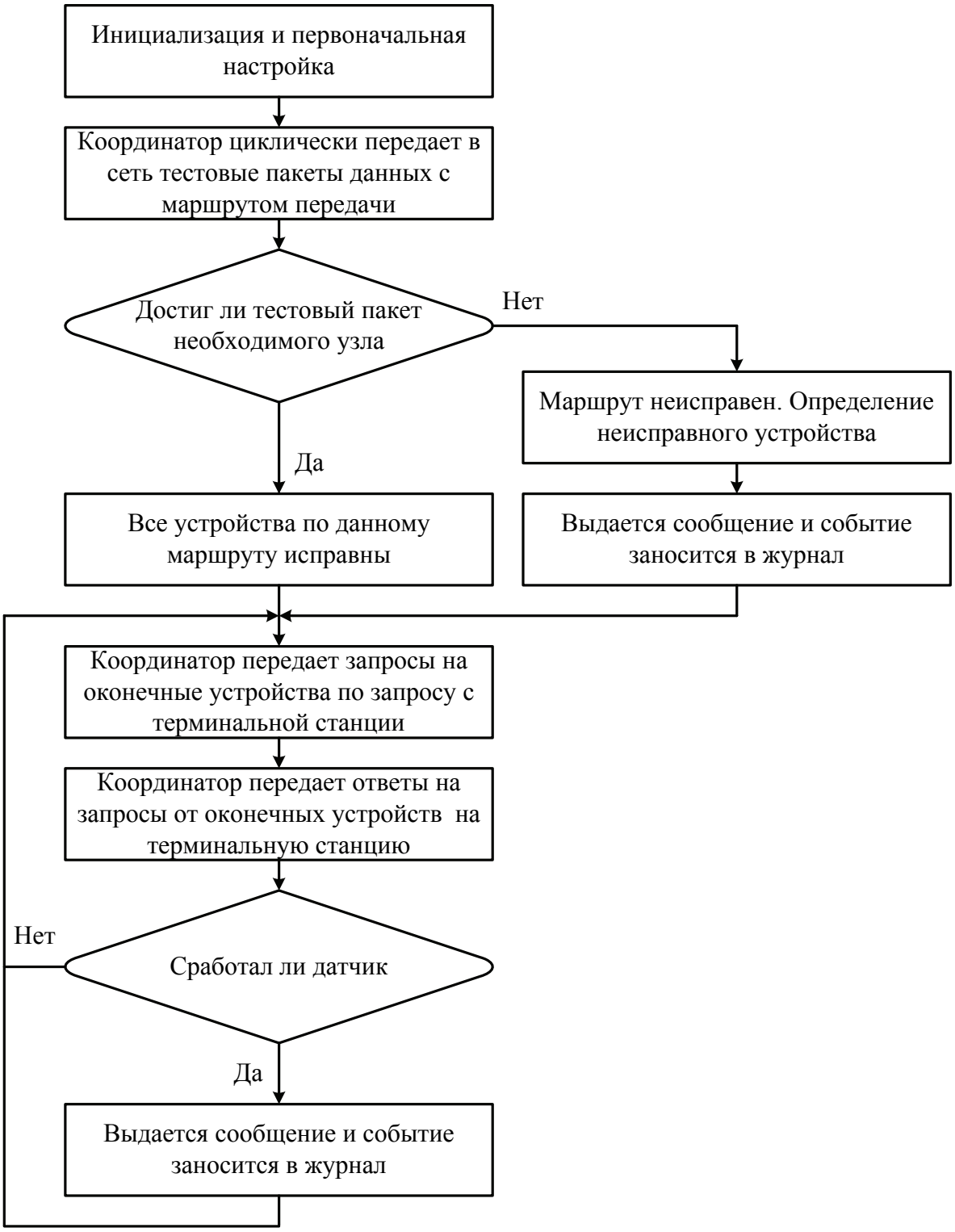


Рис. 2. Алгоритм функционирования сети сбора сигналов СКВА

Оператор может вручную создать запрос на получение информации от определенного датчика, подключенного к беспроводной сети. В этом случае координатор посылает соответствующий запрос на конечное устройство беспроводной сети, которое, в виде ответа на запрос от координатора, посылает в сеть необходимые данные.

Оконечные устройства имеют автономное питание, а кроме того, имеют возможность подключаться к 12В блоков питания компьютеров (или к свободным разъемам вентиляторов материнской платы).

На сегодняшний день наибольшим недостатком СКВА, выполненной на основе сенсорной сети, является сравнительно высокая стоимость RFD и FFD устройств: заявленное разработчиками технологии однокристальное решение оконечного устройства стоимостью 1$ пока не выполняется. Средняя цена RFD колеблется в районе 5$, а стоимость FFD устройств в несколько раз выше, что повышает общую стоимость системы. Некоторого снижения можно добиться, если в оконечных устройствах использовать только передатчик без образования двусторонней связи. Это приведет к некоторому снижению функциональности СКВА, однако позволит обеспечить большую энергоэффективность.

Несмотря на имеющиеся недостатки, СКВА на основе сенсорной сети не имеет конкуренции, если компьютерная сеть разворачивается в зданиях, где прокладка кабеля недопустима (например, в зданиях исторической важности), в беспроводных сетях (иначе теряется сам смысл беспроводной сети, если все элементы сети будут связаны кабелями СКВА), при быстром разворачивании системы защиты информации или организации временной защиты.

Выводы

Использование технологии сенсорных сетей позволяет построить систему контроля вскрытия аппаратуры, имеющую определенные преимущества по сравнению с традиционными системами с проводными цепями сбора сигналов. Удешевление элементов сенсорных сетей, увеличение их вычислительной мощности создаст еще большие преимущества.

Список литературы

1. *Мельников В.В.* Защита информации в компьютерных системах. – Москва: Финансы и статистика, Электронинформ, 1997. – 364 с.

2. *Щеглов А.Ю.* Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа. – Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2004. – 384 с.

3. *Щелконогов О.О.* Розробка системи контролю розкриття апаратури. VI Міжнародної науково-практичної конференції “Інформаційні технології та безпека в управлінні ” 14 вересня – 18 вересня 2009 р.

УДК 621.3

И.П. Шумский, к.т.н.
(ООО «Регула» г. Минск Беларусь)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАСПОРТОВ НА КОНТРОЛЬНО-ПРОПУСКНЫХ ПУНКТАХ В АЭРОПОРТУ

Разработан общий алгоритм работы автомата идентификации паспортов разных стран мира. Определены требования к выявлению наиболее информативных признаков идентификации. Рассмотрен вероятностно-возможностный метод принятия решения по четкому и нечеткому множеству. Анализируются общие технические требования, предъявляемые к автомату идентификации паспортов.

Введение. Анализ паспортов в цифровом виде с целью их идентификации в настоящее время является весьма важным в обеспечении безопасности полетов. Паспорт каждой страны обладает своими признаками идентификации на подлинность и своими требованиями к критериям принятия правильного решения. В одних условиях оптимальным является применение автоматизированных средств обработки и принятия решений, а в других - эту задачу необходимо решать в автоматическом режиме. Во всех случаях принятия правильного решения путем обработки изображения паспорта в цифровом виде есть общие принципы. В этой связи возникает **цель**: разработать общие принципы автоматической идентификации паспортов в цифровом виде, и какая технология при этом должна использоваться для принятия правильного решения.

Поставленная цель ставит следующие **задачи**:

1 – создать общий алгоритм работы автомата идентификации изображений паспортов различных стран мира;

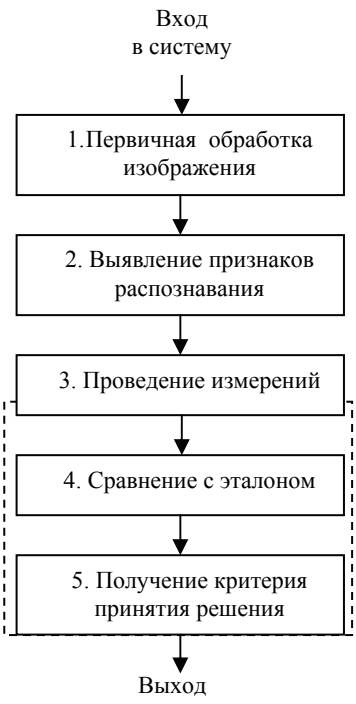


Рис.1 Общий алгоритм работы автоматической системы распознавания

2 - определить требования к выявлению наиболее информативных признаков идентификации;

3 – разработать внутреннюю инфраструктуру обработки изображения паспорта при различных освещениях;

4 – выяснить возможности вероятностно-возможностного метода принятия решения по четкому и нечеткому множеству;

5 – разработать общие технические требования, предъявляемые к автомату идентификации паспортов разных стран мира.

При принятии оптимального решения в автоматизированном случае используется человеческий фактор, т.е. способность человека принимать решение по нечетким признакам, и поэтому в таком режиме работы требования к выбору качества признаков и технологии их обработки не достаточно жесткие. В автоматическом распознавании образов работает искусственный интеллект с использованием виртуальных анализаторов [1], и осуществляться это должно в детерминированном режиме. Поэтому требования к выбору признаков идентификации паспортов предъявляются более жесткие как к самой технологии получения и обработки этих признаков в цифровых изображениях, так и к способам получения критериев, по которым принимается решение в автоматическом режиме.

Алгоритм работы автоматической системы идентификации паспортов. Общий алгоритм работы автоматической системы идентификации изображений паспортов путем обработки в цифровом виде известен и он приведен на рис. 1 [2].

В первом блоке полученное изображение представляется в удобном виде для дальнейшей обработки. По существу это подсистема предварительной обработки и сегментации изобра-

жений. В работе [3] дается описание системы предварительной обработки изображений применительно к распознаванию различных документов, а на программный продукт получено свидетельство Роспатента [4]. Улучшенное качество изображения паспорта получается в результате выполнения следующих операций: 1) устанавливается геометрическое расположение изображения путем наложения сетки с заданным шагом; 2) создание нового изображения в границах выделенной зоны; 3) создание изображения в режиме накопления; 4) создание суммарного или разностного изображения; 5) получение единого изображения путем соединения двух его фрагментов и др.

В блоке 2 выявления признаков осуществляются операции представления признаков идентификации в удобном виде для обработки и сравнения с эталоном. Признаки ранжируются по их информативности. Вначале выявляются геометрические размеры и основные элементы защиты. Затем получают признаки, которые требуют для их выявления специальных измерений. К таким признакам относятся: коэффициент отражения и пропускания в различных длинах волн, цвет материала основы и изображения, дисперсия, коэффициент корреляции, коэффициент фрактальности и др. Особенно важно выявить признаки, которые получаются в результате применения сложной технологии их получения с использованием сложных функциональных связей. Это могут быть автокорреляционная функция, взаимнокорреляционная функция и др.

В блоке 3 проведения измерений проводится количественная обработка выявленных признаков идентификации. Конкретно выполняются следующие измерения: 1) расстояния между двумя произвольными точками; 2) длины произвольного маршрута; 3) угловых величин между двумя прямыми с обозначенной вершиной; 4) цветового графика в координатах цветности; 5) коэффициентов пропускания и отражения в заданных точках изображения; 6) отклонения от заданного маршрута и др.

Блоки 4 и 5 сравнения с эталоном и получение критерия принятия решения соответственно на рис. 1 выделены и составляют единичную ячейку идентификации. Блок сравнения с эталоном совместно с блоком принятия решения являются наиболее ответственными и поэтому детально рассмотрим их совместную работу. На рис. 2 изображен общий алгоритм работы элементарной ячейки идентификации. Рассмотрим назначение каждого блока в процессе работы устройства сравнения и получения критерия принятия решения в ячейке отдельного признака.

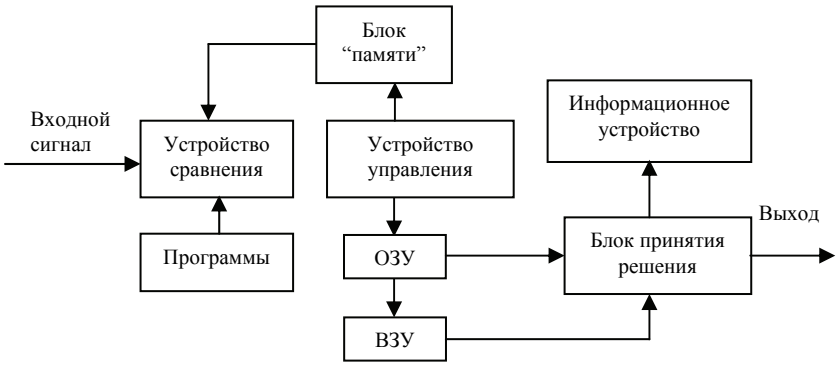


Рис. 2 Алгоритм работы элементарной ячейки идентификации
по заданному признаку

Схема сравнения – это блок, в котором поступающие сигналы на его вход сравниваются с эталонными и передаются на устройство управления.

Устройство управления координирует работу функциональных блоков устройства сравнения. С его помощью устанавливаются нужные режимы работы, выбираются программы на устройстве сравнения по каждому из признаков, переводит данные в оперативное и внешнее запоминающее устройство и изменяет по определенной программе алгоритмы функционирования устройства сравнения.

Оперативное запоминающее устройство ОЗУ предназначено для временной фиксации полученного результата сравнения при выполнении тех или иных действий в устройстве сра-

внения. Эта информация дает возможность вносить коррективы в работу устройства сравнения. По информации из ОЗУ принимается окончательное решение и, если это решение важно для дальнейшего функционирования устройства сравнения, то она передается во внешнее запоминающее устройство.

Внешнее запоминающее устройство ВЗУ позволяет фиксировать результаты выполненного сравнения по тому или иному признаку в течение длительного момента времени. Эти данные затем могут быть проанализированы и использованы в последующем блоке для коррекции выходного сигнала.

Блок памяти предназначен для смены программ в автоматическом режиме. Он хранит и выдает на устройство сравнения эталоны, с помощью которых оцениваются величины отклонения от заданного порога. Введение блока памяти позволяет реализовать работу блока сравнения в автоматическом режиме. Отсутствие такого блока приводит к тому, что из системы исключается управление процессом сравнения как высшего звена, и автоматический режим переходит в автоматизированный.

Блок принятия решений выдает информацию на информационное устройство и сигнал для дальнейшего использования полученной информации.

Информационное устройство предназначено для визуализации принятого решения и для контроля правильной работы автоматической системы идентификации в целом, и таким образом реализуется обратная связь в устройстве сравнения.

Реализация такого алгоритма работы идентификации изображений в автоматическом режиме для принятия правильного решения возможна при наличии системы надежных признаков идентификации и их методов анализа, которые не могут быть реализованы простым способом.

Приборная реализация автомата идентификации образов. Нечеткое множество признаков распознавания цифрового изображения было использовано для проведения проверки паспортов в автоматическом режиме. Выявленная система мер защиты описана в атласах паспортов, где они детально описаны [5]. Многие признаки, удовлетворяющие требованиям автоматизированных систем, не могут быть использованы в автоматах с искусственным интеллектом не только в силу их конфиденциального характера, но и по причинам, что эти признаки составляют нечеткое множество, для которого отсутствуют функции принадлежности. Соответствующие функции принадлежности были установлены субъективным методом с помощью привлеченных экспертов.

Полученное изображение паспорта в различных диапазонах длин волн содержит свой набор признаков идентификации и представляет нечеткое подмножество общего нечеткого множества системы мер защиты для паспорта каждой страны. В процессе получения нечетких отношений выявляются величины отклонения функции принадлежности для каждого элемента защиты в сравнении с эталоном. В блоке предварительной обработки устанавливаются отклонения от субнормального нечеткого множества и выделяются нечеткие множества уровня α. Множество уровня α (α-среза) нечеткого множества А это такие отклонения, по которым принимается решение о передачи паспорта на углубленный контроль с привлечением экспертов высокого класса. Для всех элементов защиты заранее методом экспертных оценок устанавливается множество строгого уровня вида:

$$A_{\alpha}^{s} = \left\{ x \in X \middle| \mu_{A}(x) > \alpha \right\}, \qquad (1)$$

где A_{α}^{s} - нечеткое множество уровня α, принадлежащее классу s = 1,2,3 (1,2,3 – соответствует получению изображения в ультрафиолетовой, видимой и ИК областях спектра), $\mu_A(x)$ – функция принадлежности, которая присвоена данному элементу защиты в классе s.

Полученные изображения в различных длинах волн оптического диапазона в каждом классе нечетких множеств выявленных элементов защиты сравниваются с другим нечетким множеством, установленным методом экспертных оценок, выступающим в качестве эталона. В этом случае автомат производит анализ двух нечетких систем и определяет силу связи между двумя нечеткими множествами. Если это не размытое отношение, то оно определяется произведением n множеств

$$R \subseteq X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_n . \qquad (2)$$

В свою очередь нечеткое отношение задается с помощью своей функции принадлежности

$$\mu_R : X_1 \times X_2 \times ... \times X_n \to L, \qquad (3)$$

где L – это нормализованный интервал [0,1]

В блоке предварительной обработки получают функцию принадлежности нечеткого отношения. Определив функцию принадлежности нечеткого отношения, необходимо правильно сформировать критерий принятия решения. В качестве критерия наиболее целесообразно использовать среднеквадратичное отклонение от нормализованного нечеткого отношения, установив порог методом экспертных оценок и уточнив его путем проведения обучения автомата. Параллельно с разработкой программы создавалась система автоматического анализа паспортов на контрольных пунктах их проверки. Общий вид прибора, работающего в автоматическом режиме, изображен на рис. 3. Прибор выполнен в пластмассовом корпусе, состоящем из основания 1 и корпуса 2. В верхней части корпуса 2 смонтированы: предметное стекло 3. прикрытое от внешних засветок крышкой 4, поддерживающий столик 5 и индикаторный светодиод 6. На задней стенке основания 1 находится USB разъем для подключения к системному блоку ПЭВМ и разъем дополнительного блока питания.

Рис. 3. Общий вид выносной части прибора автоматической идентификации изображения

Принцип действия автомата основан на видеозахвате изображения документа USB-камерой в трех режимах освещения: инфракрасный, видимый и ультрафиолетовый диапазон оптического излучения. После подключения к ПЭВМ и запуска программного обеспечения прибор переходит в режим ожидания. При помещении на предметное стекло 3 исследуемого документа по сигналу фотодатчика включается режим считывания документа в заданных длинах волн последовательно от ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов с выполнением следующих функций:

- полностраничное сканирование документов формата ID-1 (идентификационная карточка), ID-2 (паспорт-карточка, виза), ID-3 (паспорт) при белом, УФ, ИК и коаксиальном освещении;

- считывание текстовой информации (OCR) из машиносчитываемой зоны и зоны визуальной проверки, чтение 1D и 2D баркодов;

- считывание контактных и бесконтактных смарт-карт (SmartCard, RFID);

- автоматическая проверка подлинности бланка документа и его заполнения по анализу текстовой, графической и скрытой (IPI) информации в различных спектрах оптического излучения.

Обработка полученного изображения зависит от соответствующей области считывания и типа применяемого программного обеспечения.

Программное обеспечение прибора нормально функционирует в ОС Windows 2000 или Windows XP, с установленным DirectX 8.1 и выше. На рис. 4 показан пример норвежского паспорта при видимом и инфракрасном освещении.

В видимом свете обрабатывается машиносчитываемая зона, сравнивается фотография с изображением владельца и производится обработка выявленных элементов защиты. При освещении инфракрасным источником производится измерение контрастов в выбранных участках паспорта и производится обработка ранее выявленных мер защиты в этом диапазоне длин волн. Аналогично обрабатывается изображение паспорта, полученное в ультрафиолетовых лучах.

В приборе предусмотрена защита от несанкционированного доступа к программному обеспечению.

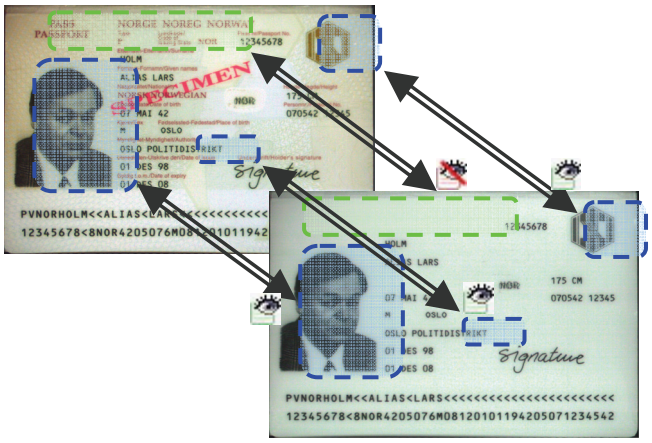


Рис. 4 Сравнительный анализ норвежского паспорта в видимом и ИК диапазонах длин волн

На основании проведенных исследований перевода проверки паспортов на контрольных пунктах в автоматический режим их идентификации можно сделать следующие выводы:

1. Разработан общий алгоритм работы автоматического прибора для проверки паспортов с целью их принадлежности к лицу, которое предъявляет паспорт, а также принадлежность паспорта стране, указанной в паспорте.
2. Разработаны основные принципы построения приборов для реализации автоматического режима проверки паспортов, изготовлена опытная партия и проведено предварительное обучение такого автомата.

Для дальнейшего совершенствования таких автоматов необходимо набрать статистику возможных отказов и отработать надежный режим самообучения.

В машиностроительном производстве нечеткие отношения признаков распознавания можно использовать для прогноза ресурса работы сложных технических систем [6, 7].

Список литературы

1. *Бахтадзе Н.Н.* Виртуальные анализаторы (идентификационный подход).//Автоматика и телемеханика, 2004, № 11. С. 3 – 24.

2. *Гречихин Л. И., Шумский И. П.* Автоматический анализ цифровых изображений и принятие правильного решения //Вестник компьютерных технологий, 2005, №11. С. 10-21.

3. *Абламейко С. В., Шумский И.П* Комплексная система получения и обработки изображений «Video Scope». // Доклады III Международной конференции «Цифровая обработка информации и управление в чрезвычайных ситуациях». – Мн.: Ин-т техн. Кибернетики НАН Беларуси, 2002. Т. 1. С. 16-21.

4. *Шумский И.П., Бодров В.Ю., Рогожинский Ю.А., Фирскин С.Г.* Топологическая система сравнения и анализа изображений («VIDEOSKOPE»). // Роспатент. Свидетельство. № 990307 19 марта 1999 г.

5. *Станкевич В.Г., Шумский И.П.* Атлас паспортов. Справочник. – Мн.: НПП «Регула», в 8-и томах, 1999, 2000, 2002, 2003….2010

6. *Гречихин Л. И.* Безразборная техническая диагностика сложных конструкций и возможности прогнозирования ресурса работы. // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методов их решения: Труды V Международной конференции. СПб.: Изд. СПбГПУ, 2003, с. 152-173.

7. Уткин В. С., Кошелева Ж. В. Определение остаточной надежности и остаточного ресурса конструкций при ограниченной информации. // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методов их решения: Труды V Международной конференции. СПб.: Изд. СПбГПУ, 2003, с. 525-527.

УДК: 004.056

А.Е. Архипов, доктор технических наук, профессор
(Национальный технический университет Украины „КПИ”, Украина)

ВЛИЯНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ВРЕМЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ УГРОЗ ИНФОРМАЦИИ

Рассматривается методика експертно-аналитического оценивания вероятностных параметров модели „атака-защита”. Методика базируется на анализе экономических мотиваций в системе „атака-защита”.

В работах [1,2] рассматривались некоторые методологические аспекты и формальные приемы, позволяющие получить оценки вероятностных параметров рисков в случае возможной реализации атак (угроз) по отношению к определенному информационному ресурсу защищаемой информационной системы. Отмечалось, что для успешного использования подобных формальных приемов и рекомендаций следует обязательно анализировать реальные особенности рассматриваемых событий (атак, угроз), в частности, экономические мотивации атакующей и защищающейся сторон, а также протяженность (распределенность) этих событий во времени. Ниже исследуются возможности более детального и конкретизированного применение предложенных подходов к решению некоторых практических задач.

Рассмотрим ситуацию, возникающую при реализации атакующей стороной A (злоумышленниками) угрозы T относительно некоторой информации (информационного ресурса) I, принадлежащего стороне B. Полагаем, что D – общая стоимость затрат атакующей стороны A на реализацию угрозы T, g – полученный при этом стороной A «выигрыш», определяемый ценностью информации I для злоумышленников. Урон, причиненный в этой ситуации стороне B, т.е. важность критической информации с точки зрения ее владельца, оценивается им как q, а общая стоимость осуществленного в ИС комплекса защитных мероприятий равняется C.

Приведенные данные дают стоимостную характеристику ситуации «атака-защита». Требуется на базе этих сведений построить логико-эвристическую схему экспертного оценивания вероятностных характеристик, используемых для вычисления информационных рисков.

Очевидно, что активность стороны A в реализации угрозы T определяется в общем случае величиной чистой прибыли

$$Q = g - D, \tag{1}$$

которую сторона A может получить в случае успешной реализации угрозы T. Чем больше прибыль Q, тем устойчивее стремление стороны A к осуществлению угрозы T, которое количественно можно оценить вероятностью угрозы

$$P_N = \frac{g - \alpha D}{g} = 1 - \alpha \frac{D}{g}, \tag{2}$$

где α – некоторый коэффициент, отражающий уровень мотивации стороны A к осуществлению угрозы. Диапазон возможных значений α определяется соотношением

$$1 \le \alpha \le g / D. \tag{3}$$

Однако возможность непосредственной реализации угрозы зависит от уровня защищенности информации I, в частности, от наличия уязвимостей в системе защиты информации (ЗИ) и возможностью проведения стороной A атаки, использующей наличие той или иной уязвимости V. Вероятность успешной реализации этой атаки можно определить выражением:

$$P_V = 1 - \beta \frac{C}{q}, \tag{4}$$

где β – коэффициент, отражающий традиционное для ЗИ соотношение между затратами на защиту стоимостью корпоративной информационной системы (КИС) [3] (либо, по другим источникам, стоимостью защищаемой информации [4], ценностью этой информации [5]): $c = (0{,}05 \div 0{,}25)q$, откуда $\beta = 4 \div 20$. В общем вероятность реализации угрозы (вероятность происшествия, инцидента) определяется как

$$P = P_T P_V . \qquad (5)$$

Следует подчеркнуть, что введение выше вероятности характеризует возможности реализации соответствующих событий в течение некоторого интервала времени τ (конечной или бесконечной длительности), т.е. эти вероятности распределены на интервале времени τ по определенному закону $P(t)$, например [2]:

$$P_T(t) = P_T \int_0^{\tau} p_T(t)dt , \qquad (6)$$

причем $\int_0^{\tau} p_T(t)dt = 1$.

При задании вероятностей $P_T(t)$, $P_V(t)$, названных в [2] терминальными, в качестве распределений $p_T(t)$, $p_V(t)$, могут быть использованы как типовые виды распределений вероятностей, так и специфические, формы которых определяются конкретными особенностями ситуаций, возникающих в ходе развития событий в системе "атака-защита". Рассмотрим несколько вариантов (сценариев) развития подобных событий.

В первом варианте будем полагать, что атакующая сторона A имеет устойчиво постоянный интерес к информации I, владельцем которой является защищающаяся сторона В, причем время существования этого интереса $t_{\max}$ зависит только от величины суммарных затрат $D(t)$, понесенных атакующей стороной A на подготовку, организацию и проведение атакующих действий. Если в некоторый момент времени $t_{\max}$ величина суммарных затрат $D(t_{\max})$ достигнет значения, при котором $\alpha D(t_{\max})/g$ станет равным 1, то в соответствии с формулой (2) терминальная вероятность $P_T(t_{\max})$ окажется равной 0, т.е. дальнейшее продолжение атакующих действий стороной A представляется нерациональным. Затраты $D(t_{\max}) = D_{\max}$ назовем предельно возможными затратами стороны A. Предположим далее, что текущие затраты δ атакующей стороны в среднем неизменны во времени. Тогда справедливы соотношения:

$$D(t) = \delta t \le D_{\max} , \qquad t_{\max} = D_{\max} / \delta , \qquad (7)$$

где $t_{\max}$ – длительность интервала времени, в течение которого сторона А полностью расходует свой атакующий ресурс и прекращает попытки реализации угрозы Т по отношению к информации I, владельцем которой является сторона B.

Значение терминальной вероятности $P_T(t)$ в соответствие с выражениями (2), (7) определяется формулой:

$$P_T(t) = (1 - \alpha \frac{\delta}{g} t) . \qquad (8)$$

Кроме того будем полагать, что с ростом общего времени t, которое сторона A тратит на организацию, подготовку и проведение атак (т.е. по мере накопления стороной A опыта реализации угрозы и сведений о системе ЗИ стороны B), растет терминальная вероятность $P_V(t)$ успешного использования стороной A уязвимости V: $P_V(t)=p_v(t)$, где p_v=const. Тогда вероятность происшествия (реализация угрозы) определяется выражением:

$$P(t) = P_T(t)P_V(t) = (1 - \alpha \frac{\delta}{g} t) p_V t = p_V t - \frac{\alpha \delta p_V}{g} t^2 . \qquad (9)$$

При этом вероятность $P(t)$ возрастает, начиная от $P(0)=0$ до своего максимального значения $P(t_{extr}) = 0{,}25 p_V g / \alpha\delta$, соответствующего моменту времени $t_{extr} = g / 2\alpha\delta$, уменьшаясь затем вновь до *0*: $P(t_{\max})=0$.

Для второго сценария развития событий в системе "атака-защита" доминирующим является влияние фактора времени на мотивацию и действия атакующей стороны *A*. В частности предполагается, что доступ к информации *I* возможен только в течение ограниченного интервала времени (*0*, t_0], т.е. $P(t)=0$ при $t>t_0$. В этой ситуации мотивация атакующей стороны *A* резко возрастает по мере приближения момента t_0 (если ранее предпринимаемые атаки окончились неудачей), что отображается моделью вида:

$$P_T(t) = \frac{P_{T\max}}{t_0 - t + 1}, \qquad P_{T\max} = P_T(t_0). \tag{10}$$

Очевидно, что рост мотивации должен обуславливать рост ресурсов, привлекаемых стороной *A* для подготовки, организации и реализации атак, при этом зависимость $D(t)$ будет отличаться от линейной, представленной в соотношении (7). Если значение $D_{\max}$ задано, из уравнения (2) можно найти

$$P_{T\max} = 1 - \alpha \frac{D_{\max}}{g}, \tag{11}$$

и, приравняв выражения (2), (10), определить, с учетом равенства (11), зависимость $D(t)$:

$$\frac{P_{T\max}}{t_0 - t + 1} = 1 - \alpha \frac{D(t)}{g}, \tag{12}$$

$$D(t) = \frac{g}{\alpha}\left(1 - \frac{P_{T\max}}{t_0 - t + 1}\right) = \gamma\left(1 - \frac{1 - \gamma D_{\max}}{t_0 - t + 1}\right),$$

где $\gamma = g / \alpha$. Начальные затраты стороны *A* на атакующие действия составят:

$$D(0) = \frac{\gamma t_0}{t_0 + 1}\left(1 + \frac{D_{\max}}{\gamma t_0}\right). \tag{13}$$

Выводы

Анализ экономико-стоимостных соотношений в системе «атака-защита» при исследовании угроз информации позволяет построить эвристические модели для оценивания вероятностей угроз информации и уязвимости информационных ресурсов. Получаемые при этом оценки вероятностей могут быть как сосредоточенными (точечными), так и распределенными на некотором временном интервале, а также менять свои значения в зависимости от характера развития событий в системе "атака-защита".

Список литературы

1. *Архипов А.Е., Архипова С.А.* Применение мотивационно-стоимостных моделей для описания вероятностных соотношений в системе «атака-защита». - Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Київ-2008р, випуск 1(16).- с. 57-61.

2. *Архипов А.Е.* Об особенностях оценивания вероятностей, используемых для вычисления информационных рисков. - Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції (ISDMCI '2010). Том 2. – Херсон: ХНТУ, 2010. – 590с, с.515-517..

3. *Петренко С.А., Симонов С.В.* Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность. М.: Компания Ай Ти; ДМК Пресс, 2004. - 348с.

4. *Андрощук Г.А., Крайнев П.П.* Экономическая безопасность предприятия: защита коммерческой тайны. – К.: Изд. Дом «Ин Юре», 2000. – 400с.11. Толстова Ю.Н. Измерение в социологии.- М.: ИНФРА – М, 1998. – 224с.

5. *Гринберг А.С., Горбачев Н.Н., Тепляков А.А.* Защита информационных ресурсов государственного управления. – М.: Юнити-ДАНА, 2003. – 327с.

УДК 519.724.681

О.Є. Архипов, доктор технических наук, професор,
С.А. Архіпова, кандидат технічних наук, доцент
(Національний технічний університет України "КПІ", Україна)

МОДЕЛЬ ЦІННОСТІ КОНФІДЕНЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Розглянуто особливості визначення цінності конфіденційної інформації, зокрема, з урахуванням процесів старіння та фрагментації інформаційного ресурсу на окремі блоки. Наведено структуру моделей цінності інформації.

Одним з базових положень побудови систем захисту інформації (СЗІ) є принцип розумної достатності, відповідно до якого витрати на побудову та супровід СЗІ мають співставлятися з можливими втратами, обумовленими реалізаціями загроз щодо інформації, яка підлягає захисту. Це дозволяє оптимізувати витрати на створення СЗІ, забезпечивши адекватність рівня захисту рівню цінності інформації. Тому визначення кількісного значення цінності інформації, яку треба захищати, є провідним моментом процедури оптимізації витрат на СЗІ.

Однак значення цінності інформації не можуть бути отримані шляхом прямого вимірювання, бо цінність інформації являє собою так звану латентну (приховану) властивість, яка є неспостережною й невимірною безпосередньо, оскільки до неї незастосовна процедура вимірювання еталонною одиницею. Для вимірювання латентної властивості необхідно виразити її через вимірювані властивості, які отримали назву індикаторів. Сукупність індикаторів, що заміняє латентну властивість (змінну), утворює операціональний референт або операціональний конструкт. Він використовується замість латентної змінної в усіх залежностях, в які вона входить. Операціональний конструкт повинен бути достатньо валідним відносно своєї латентної змінної, тобто має достатньо точно відтворювати її властивості, критичні для всіх застосувань, де задіяна латентна змінна.

В найпростішому випадку операціональним конструктом може бути окремий індикатор, зокрема, для латентної змінної "цінність інформації" їм може бути придатність інформації до практичного застосування. В цьому разі спосіб вимірювання значень обраного індикатора залежить від мети використання інформації у кожному конкретному практичному застосуванні, що в кінцевому підсумку й обумовлює появу множини підходів і методів оцінювання рівнів індикаторів.

Якщо у якості індикатора латентної змінної "цінність інформації" взяти корисність використання інформації у різних прикладних застосуваннях, та як одну з головних вимог визначити необхідність грошової форми представлення значень цього індикатора, отримаємо достатньо універсальний операціональний конструкт, незалежний від способу "вимірювання" (обчислення) рівня корисності у кожному конкретному застосуванні. Мається на увазі, що при оцінюванні рівня корисності, обумовленої зростанням ефективності виконанням несхожих прикладних завдань завдяки використанню певної допоміжної інформації, припустиме застосування відповідних не співпадаючих способів обчислення цієї корисності. Головне – щоб ці оцінки були обчислені в єдиній шкалі, що забезпечує можливість їх наступного порівняння та сумісного дослідження. Зауважимо, що аналіз літературних джерел дозволяє констатувати, що в більшості випадків оцінювання цінності інформації, за умов дотримання певних додаткових вимог, зводиться саме до оцінювання корисності прикладних застосувань цієї інформації. Це дозволяє сформулювати наступне положення: цінність інформації вимірюється рівнем максимальної корисності, отриманої від залучення оцінюваної інформації до оптимізації виконання певного завдання (виконання роботи, розв'язання задач та проблемних ситуацій, оптимізації параметрів виробничого процесу тощо) за умови найліпшого способу використання цієї інформації. Деякий екстремізм цього твердження, що його вносять звороти "максимальна користь", "найліпший спосіб використання", отримав назву принципу

(умов) екстремальності. Очевидно, що якість конкретного прикладного застосування інформації може бути різною. Відтак корисність цієї інформації може змінюватися в широких межах. Дотримання принципу екстремальності гарантує найвищу якість використання інформації, відповідно найвищу (максимальну) корисність її застосування. Кількісна оцінка цієї максимальної корисності визначає цінність інформації. Тобто саме наявність принципу екстремальності в наведеному тлумаченні цінності інформації є запорукою коректного однозначного кількісного визначення цінності.

Формально цінність інформації можна відповідно до викладеного вище визначити наступним чином:

$$V(I) = \Delta A_{extr}(I) - d(I), \qquad (1)$$

де A – показник, що характеризує ступінь успішності виконання певного завдання, роботи, іншого виду діяльності (цим показником може бути вартість продукції, виготовленої за певний час чи з фіксованого обсягу вихідної сировини, виграш, обумовлений вибором вдалого рішення, загальна вартість послуг, наданих споживачам у певній сфері діяльності тощо);

$d(I)$ – витрати на одержання, обробку та використання інформації I у певному виді діяльності;

ΔA – покращення (зростання) показника A за рахунок отриманої інформації I:

$$\Delta A(I) = A(I) - A_0, \qquad (2)$$

де A_0 – вихідне значення показника (за відсутністю інформації I), $A(I)$ – зросле завдяки використанню інформації I значення показника A. Зокрема, значення A може збільшитись внаслідок застосування отриманої інформації для оптимізації параметрів виробничого процесу, зменшення можливих хибних або неперспективних варіантів рішення певної проблеми, зростання іміджевої привабливості даного виду професійної діяльності й т. п.

Дотримання принципу екстремальності обумовлює зростання показника A до його максимально можливого значення A_{extr}, то ж

$$\Delta A_{extr}(I) = A_{extr}(I) - A_0. \qquad (3)$$

У кожному конкретному застосуванні інформації I спосіб її "споживання" буде різним: разове використання інформації I у задачах прийняття рішення для вибору найкращого рішення з множини можливих; розподілене у часі поточне використання інформації для налаштування параметрів виробничих процесів тощо. Очевидно, що найбільш прийнятна форма виміру значень V, A, d – грошова, хоча на практиці використовуються умовні одиниці, бали та інше. Крім того у більшості випадків величини V, A, d носять детермінований характер і їх значення можуть бути точно обчислені за існуючими нормативами та тарифами (виключення становить задача прийняття рішення на множині варіантів з відомою інформацією про розподіл ймовірностей їх реалізацій). Зазначимо, що наведений спосіб обчислення рівня корисності інформації, як і більшість традиційних методів та підходів до визначення цінності інформації, базуються на парадигмі позитивності наслідків залучення інформації до оптимізації певних видів робіт (прийняття рішень, розв'язання задач, виконання завдань). Однак в задачах захисту інформації (ЗІ) ця парадигма не спрацьовує, бо виникає відсутня раніше потреба в чіткому визначенні того суб'єкта інформаційних відносин (власника / споживача інформації чи зловмисника), для якого в цій ситуації визначається цінність інформації. Наприклад, для зловмисника несанкціонований доступ до конфіденційної інформації I, легітимне право на ознайомлення з якою у нього відсутнє, в більшості випадків стимулюється перспективою отримання певного прибутку, пов'язаного саме з використанням цієї конфіденційної інформації у своїх інтересах. Тому для зловмисника корисність цієї інформації I очевидна. Що стосується власника / споживача інформації I, то тут ситуація має подвійний характер. По-перше, ця інформація може бути корисна в традиційному сенсі. По-друге, компрометація інформації I здатна призвести до збитків, обсяг яких значне перевищуватиме корисність, ви-

значену за співвідношенням (1). Це є достатнім мотивуванням необхідності захисту цієї інформації, отже в певному розумінні визначає цінність інформації I . Тому питання визначення цінності інформації, яка підлягає захисту, потребує додаткового розгляду.

Як відомо [7,8] , споживчі якості інформації в повному обсязі гарантуються за умов забезпечення трьох властивостей інформації:

– доступності (можливості отримання санкціонованим користувачем потрібної йому інформації не пізніше заданого (малого) проміжку часу, захищеність її від несанкціонованого блокування);

– цілісності (захищеність інформації від несанкціонованого знищення, модифікації);

– конфіденційності (неможливість отримання інформації неавторизованим користувачем, захищеність від несанкціонованого ознайомлення).

Розглянемо дещо детальніше ситуації, що виникають в разі реалізації загроз щодо трьох наведених властивостей інформації. Так, у випадку разового використання інформації I в задачі прийняття рішення, знищення або блокування цієї інформації обумовлює неможливість зростання показника A , тобто $\Delta A = 0$. Це означає, що споживач інформації задарма витратив гроші $d(I)$ на підготовку та обробку вчасно невикористаної інформації I. Додавши сюди втрачену вигоду, максимальний обсяг якої складає $\Delta A_{extr}(I)$, отримуємо граничний обсяг збитку споживача:

$$l = \Delta A_{extr}(I) + d(I) \quad . \tag{4}$$

У випадку використання поточно оновлюваної інформації, надходження якої розподілене у часі, її блокування чи знищення призведе практично до такого самого збитку, але з деяким часовим запізненням (лагом), впродовж якого збиток зростатиме від 0 до l.

У разі модифікації інформації, при невиявлені факту модифікації, збитки споживача інформації можуть сягати суттєвих значень, перевищуючи як $\Delta A(I)$, так і $A(I)$, та мають, на відміну від (4), імовірнісний характер.

Однак найбільші збитки характерні для випадку порушення конфіденційності інформації. При їх оцінюванні слід зважати на існування множини можливих сценаріїв розвитку подій, тобто ці збитки мають принципово імовірнісний характер. Крім того, в разі виявлення факту компрометації конфіденційної інформації, до загального обсягу збитків слід додати витрати на відновлювальні роботи, пов'язані з ліквідацією наслідків компрометації інформації.

Загалом структура збитків, що їх несе власник/споживач конфіденційної інформації через її втрату, має чотири складові:

$$L(I) = l_1 + l_2 + l_3 + L_\Sigma(I) \quad , \tag{5}$$

де l_1 – витрати на створення та обробку конфіденційної інформації I (близькі або співпадають з $d(I)$) ,

l_2 – втрати можливого прибутку за рахунок використання конфіденційної інформації I (у ряді випадків співпадають з $\Delta A(I)$),

l_3 – витрати на створення та експлуатації СЗІ,

$L_\Sigma(I)$ – інтегральна оцінка збитку, що є наслідком можливих результатів розвитку ряду негативних для власника/споживача сценаріїв подій, обумовлених втратою конфіденційної інформації.

За своїм характером $l_1 - l_3$ – детерміновані величини, значення яких для діючої виробничої системи мають бути достеменно відомі. Складова $L_\Sigma(I)$ – імовірнісна величина, яка для свого обчислення вимагає знання пар $< p_j, L_j >$ – ймовірностей розвитку кожного з можливих сценаріїв та результуючих збитків за кожним з них. Зважаючи на те, що в разі недосконалості СЗІ власник конфіденційної інформації I може понести максимальний збиток в розмірі $L(I)$, саме ця величина приймається у якості цінності $V(I)$ конфіденційної інформації.

В семантичному розумінні найбільш адекватною реальній економічній ситуації, що наступає після здійснення загрози, буде структура, яка включає такі три складові:

– втрачена цінність;

– збитки, обумовлені модифікацією чи розголошенням конфіденційної інформації;

– витрати на отримання та зберігання інформації.

Відповідно до викладеного вище, остання складова включає в себе витрати l_1, l_3. Доцільно більш детально розкрити зміст двох перших складових. Зокрема, обраховуючи втрачену цінність, зважатимемо на такі часткові показники:

а) корисність інформації як інформаційної складової забезпечення якості та ефективності певної діяльності;

б) "самостійну" корисність інформації з точки зору її необхідності для розв’язання ряду задач означеної вище діяльності.

Обчислення збитків теж базується на двох часткових показниках:

а) величині шкоди, обумовленої модифікацією чи розголошенням конфіденційної інформації;

б) витратах на проведення робіт з ліквідації наслідків розголошення конфіденційної інформації.

Висновки

Проаналізовано відмінності підходу до визначення цінності конфіденційності інформації порівняно із традиційним підходом, що базується на парадигмі позитивності наслідків застосування інформації для підвищення ефективності різних видів діяльності. Запропоновано узагальнену структуру цінності конфіденційної інформації, розглянуто деякі особливості оцінювання цінності, пов’язані з процесом старіння інформації та фрагментацією її на окремі блоки.

УДК 004.056.5(045)

С.В. Казмирчук, ассистент
(Национальный авиационный университет, Украина)

БАЗОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ РИСКА В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Был проведен анализ понятия риска в различных предметных областях с точки зрения безопасности, психологии, экономики, страхования, медицины, геологии и т.д., которое раскрывалось как в монографиях, статьях, учебниках, словарях так и в различных нормативных национальных и международных документах. Определены базовые характеристики риска из множества его толкований для последующей интерпретации в информационной безопасности. Предлагается для интеграции определения понятия риска, с отображением в области ИБ, представить его в виде кортежа с описанием идентифицирующих и несущих компонентов.

В работе [1] проведен анализ толкований риска во многих отраслях человеческой деятельности с целью его отображения на сферу информационной безопасности (ИБ), а также выделены базовые характеристики риска, которые можно интерпретировать, как его параметры. Существующие методики оценки и анализа риска ИБ за основу берут только несколько параметров, например, вероятность, опасность и частоту. Часто при построении систем менеджмента ИБ или при проведении ее аудита, возникают случаи, при которых необходимо отразить риск через другие параметры, например, таких как, затраты и потери, неопределённость, характеристика ситуации и т.д. В этой связи целью данной работы является анализ описанных параметров риска, определение их свойств и связей между ними.

Для исследуемого множества толкований риска (с отображением на сферу ИБ) в работе [1] выделены его базовые признаки, которые с учетом [3] (риск – как отклонение от цели), предлагается представить его в виде кортежа с десятью компонентами **< E, A, M, C, P, D, S, F, L, V>,** где **E** – событие, **A** – действие, **M** – мера риска, **C** – характеристика ситуации, **P** – вероятность, **D** – опасность, **S** – ситуация выбора, **F** – частота, **L** – затраты и потери (расходы), **V** – отклонение от цели.

Первый приведённый в кортеже компонент – **событие (E),** который можно отображать в виде символьной переменной, принимающей одно из значений конечного множества идентификаторов $E \in \{E_1, E_2, ..., E_e\}$ (e – количество идентификаторов событий). С учетом того, что в области ИБ риск связан с такими базовыми характеристиками безопасности ресурсов информационных систем (РИС) как конфиденциальность, целостность и доступность, то базовые события при e=7 могут идентифицироваться как, E_1="Нарушение конфиденциальности (НК)", E_2="Нарушение целостности (НЦ)", E_3="Нарушение доступности (НД)", E_4="Нарушение целостности и конфиденциальности (НЦК)", E_5="Нарушение целостности и доступности (НЦД)", E_6="Нарушение конфиденциальности и доступности (НКД)", E_7="Нарушение конфиденциальности, целостности и доступности (НКЦД)".

Следующий компонент кортежа – **действие (A),** которое привело к событию **E**. С точки зрения ИБ **A** связано с реализацией потенциальных **угроз** базовым характеристикам безопасности РИС, которые привели к возникновению **E,** отображаемого одним из идентификаторов $E \in \{E_1, E_2, ..., E_7\}$. В связи с этим по аналогии с **E** компонент **A** можно отобразить множеством идентификаторов $A \in \{A_1, A_2, ..., A_a\}$ (где a – количество идентификаторов угроз), например, A_1= "Компьютерный шпионаж", A_2= "Шпионаж", A_3= "Сбой программного обеспечения" и т.д.

Компонент **мера риска (M),** с учетом характера измерений в области ИБ, можно отобразить трехкомпонентным множеством $M \in \{M_{кл}, M_{кч}, M_u\}$, где $M_{кл}$ – количественная (например, характеризуемая численно), $M_{кч}$ – качественная (например, характеризуемая лин-

гвистически) и M_u – интегрированная (например, характеризуемая численно и лингвистически) меры.

В работе [1] понятие риска, во множестве его толкований, раскрывается так же через неопределённость. С точки зрения ИБ базовый признак риска **неопределённость** можно интерпретировать, как **характеристику ситуации** при наступлении определённого события **Е.** В ИБ может наступить событие **Е** к которому привело действие **А** которое ранее не происходило, например, нет статистических данных о конкретном виде инцидента нарушения ИБ. Следовательно, рассматривая компонент кортежа **характеристика ситуации (С),** можно отобразить его двухкомпонентным множеством $C \in \{C_o, C_н\}$ где, C_o – характеризирует ситуацию как определённую, а $C_н$ – как нечеткую.

Четвертый компонент кортежа **вероятность (Р)** появления события **Е (**например, с идентификатором E_3). Её часто разделяют на "объективную" (иногда называемую физической) и "субъективную" [4]. Под объективной вероятностью понимается относительная частота появления какого-либо события в общем объеме наблюдений или отношение числа благоприятных исходов к их общему количеству. Эта вероятность, например, возникает при анализе результатов большого числа наблюдений. Под субъективной вероятностью понимается мера уверенности некоторого человека или группы людей в том, что данное событие произойдет. Эта вероятность может быть формально представлена различными способами, например, вероятностным распределением или бинарным отношением на множестве событий, но наиболее часто она представляет собой вероятностную меру, полученную экспертным путем [4]. Следует отметить, что когда возникают сложности с получением статистических данных, а так же для простоты интерпретации величин, эксперты, используя логико-лингвистический подход, отображают этот компонент через лингвистическую переменную (ЛП) [2] "ВЕРОЯТНОСТЬ" с базовым терм-множеством $\mathbf{P} = \bigcup_{i=1}^{p} P_i$ (p – количество термов), для членов которого справедливо отношение порядка $P_1 < P_2 < ... < P_p$. Например, при p=3 для указанной ЛП можно сформировать множество термов $\mathbf{P} = \bigcup_{i=1}^{3} P_i =$ {"низкая" (Н), "средняя" (С), "высокая" (В)}, отображаемых нечеткими числами $\underset{\sim}{Н}, \underset{\sim}{С}, \underset{\sim}{В}$, для которых (используя известные методы [2]) определяются соответствующие функции принадлежности. Также могут быть введены и другие значения первичных термов такие как, например, "очень низкая" (ОН), "выше среднего" (ВС), "ниже среднего" (НС) и др. Очевидно, что в этом случае **Р** отображается лингвистически и при этом логически следует, что **М** интерпретируется, как $M_{кч}$.

Компонент **ситуация выбора (S)** в области ИБ можно интерпретировать как величину, характеризирующую предпочтительность наступления состояния **Е.** На основе этого компонента удобно принимать решения по организации мероприятий, например, по снижению риска, его принятию, передачи третьему лицу и т.д. Компонент **S**, аналогично **вероятности,** можем представить через ЛП "СИТУАЦИЯ ВЫБОРА" с базовым терм-множеством $\mathbf{S} = \bigcup_{i=1}^{s} S_i$ ($S_1 < S_2 < ... < S_s$) позволяющего интерпретировать выбор посредством s вариантов. Например, при s=2 для указанной ЛП может быть сформировано $\mathbf{S} = \bigcup_{i=1}^{2} S_i =$ {"менее привлекательная" (МП), "более привлекательная" (БП)} или $\mathbf{S} = \bigcup_{i=1}^{2} S_i =$ {"менее надежная" (МН), "более надежная" (БН)}, которые соответственно отображаются нечеткими числами $\underset{\sim}{МП}, \underset{\sim}{БП}$ или $\underset{\sim}{МН}, \underset{\sim}{БН}$ [1, 2].

Компонент кортежа **опасность (D)** рассматривается как величина характеризующая опасность события, например, E_1 посредством A_2). По аналогии с **P** компонент **D** может отображаться численно (например, в процентах) или с помощью ЛП – "ОПАСНОСТЬ" с базовым терм-множеством $\mathbf{D} = \bigcup_{i=1}^{d} D_i$ $(D_1 < D_2 < ... < D_d)$. Например, при d=3 можем определить $\mathbf{D} = \bigcup_{i=1}^{3} D_i$ = {"низкая" (Н), "средняя" (С), "высокая" (В)}, а **мере** будет соответствовать $M_{кч}$.

Следующий компонент кортежа **частота (F),** который в области ИБ можно связать с частотой реализации "угрозы", приведшей к событию **E**. Такой компонент можно отображать численно или через ЛП – "ЧАСТОТА": $\mathbf{F} = \bigcup_{i=1}^{f} F_i$ $(F_1 < F_2 < ... < F_f)$, например, при f=3 – $\mathbf{F} = \bigcup_{i=1}^{3} F_i$ = {"низкая" (Н), "средняя" (С), "высокая" (В)}.

Компонент **затраты и потери** в области ИБ целесообразно определить через термин **расходы (L),** который по аналогии с предыдущим можно представлять числено, например, 1) 0 - $100; 2) $100 - $1000; 3) $1000 - $10 000; 4) $10 000 - $100 000, при этом **мере** соответствует $M_{кл.}$ Также **L** можно представить с помощью ЛП "РАСХОДЫ": – $\mathbf{L} = \bigcup_{i=1}^{l} L_i$ $(L_1 < L_2 < ... < L_l)$, например, при l=5 – $\mathbf{L} = \bigcup_{i=1}^{5} L_i$ = {"низкие" (Н), "ниже среднего" (НС), "средние" (С), "выше среднего" (ВС), "высокие" (В)}, а **M** соответствует $M_{кч}$. На практике встречается и интегрированное представление **L,** например, 1) *Negligible* (менее $100); 2) *Minor* (менее $1000); 3) *Moderate* (менее $10 000); 4) *Serious* (Существенное негативное влияние на бизнес); 5) *Critical* (Катастрофическое воздействие, возможно прекращение деятельности предприятия) [5], при этом **мера** будет отображаться параметром $M_{и}$**.**

Отклонение от цели (нормы) (V) – этот компонент, как и **P** может отображаться числено (например, как стандартное (квадратичное), вероятное или допускаемое отклонение [6]), так и посредством применения логико-лингвистического подхода с помощью ЛП "ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЦЕЛИ": $\mathbf{V} = \bigcup_{i=1}^{v} V_i$ $(V_1 < V_2 < ... < V_v)$. Например, при v=3 можно сформировать множество термов $\mathbf{V} = \bigcup_{i=1}^{3} V_i$ = {"маленькое" (М), "среднее" (С), "большое" (Б)}, отображаемых нечеткими числами $\underset{\sim}{М}, \underset{\sim}{С}, \underset{\sim}{Б}$.

Следует отметить, что при представлении риска, с помощью кортежа, можно выделить его идентифицирующие **E, A, M, C** и оценочные компоненты **P**, **D**, **S**, **F**, **L** и **V**.

Идентифицирующие компоненты отображаются с помощью оценочных компонент, например, для информационной системы компании необходимо определить риск связанный с наступлением события нарушения ИБ, которое привело к нарушению целостности и доступности – это событие идентифицируется как E_5= НЦД, к этому событию привело действие A_3="Сбой программного обеспечения", для отображения риска можем использовать $M_{кл}$, $M_{кч}$ так и $M_{и}$, для того чтобы показать величину риска можем воспользоваться оценочными компонентами кортежа, а именно определить: вероятность **P** наступления такого события к которому привело это действие; опасность **D** от наступления события; расходы **L** которые будут результатом наступления события; частоту **F** наступления данного события (действия); отклонения от цели **V** и наконец, выбрать вариант **S** принятия решений.

Для приведенных оценочных компонент кортежа, могут быть определены зависимости (например, аналитические) или корреляции (например, на уровне системы лингвистического вывода). Для примера рассмотрим следующие компоненты: P, S, D, F и L.

Рассмотрим пример связывающий оценочные компоненты **D, P** и **F,** соответственно с табл. 1 и 2 определяющей зависимости параметров для компонент **D** и **L**.

Таблица 1. Зависимости параметров для D

Вероятность (P)	Частота (F)		
	Высокая	Средняя	Низкая
Высокая	В	С	Н
Средняя	С	С	Н
Низкая	Н	Н	Н

Таблица 2. Зависимости параметров для L

Опасность (D)	Частота (F)		
	Высокая	Средняя	Низкая
Высокая	В	ВС	НС
Средняя	ВС	С	НС
Низкая	НС	НС	Н

Пусть произошло действие A_3= “Сбой программного обеспечения” и определены компоненты P и F (Табл. 1), тогда через эти компоненты можно отобразить D. Это можно записать следующими закономерностями: 1) ЕСЛИ Вероятность A_3 (P) “Высокая” И Частота реализации такого A_3 (F) “Высокая” ТОГДА Опасность наступления A_3 для информационной системы (D) = Высокая; 2) ЕСЛИ P “В” И F “С” ТОГДА D = С; 3) ЕСЛИ P “В” И F “Н” ТОГДА D = Н; 4) ЕСЛИ P “С” И F “В” ТОГДА D = С; 5) ЕСЛИ P “С” И F “С” ТОГДА D = С; 6) ЕСЛИ P “С” И F “Н” ТОГДА D = Н; 7) ЕСЛИ P “Н” И F “В” ТОГДА D = Н; 8) ЕСЛИ P “Н” И F “С” ТОГДА D = Н; 9)ЕСЛИ P “Н” И F “Н” ТОГДА D = Н.

Аналогично можем определить закономерности между компонентами D и F для L (Табл. 2): 1) ЕСЛИ Опасность (D) “Высокая” И Частота (F) “Высокая” ТОГДА Расходы (L) = Высокие (В); 2) ЕСЛИ D “В” И F “С” ТОГДА L = ВС; 3) ЕСЛИ D “В” И F “Н” ТОГДА L = НС; 4) ЕСЛИ D “С” И F “В” ТОГДА L =ВС; 5) ЕСЛИ D “С” И F “С” ТОГДА L = С и т.д.

Известные методики для управления, анализа и оценки риска в сфере ИБ, например, Cobra, NIST 800-30, CRAMM и т. д., используют в качестве исходящих параметров вероятность и потери, для отображения риска в других параметрах необходимо подключение дополнительного модуля, который будет посредством установленных взаимосвязей определять риск через другие параметры.

Выводы. Интегрированное представление параметров риска (с отображением на сферу ИБ) в виде кортежа с определением идентифицирующих и несущих компонент, позволит сформировать взаимосвязи между отдельными параметрами. Это даст возможность более гибко и эффективно использовать для оценивания риска существующие методы и средства.

Список литературы

1. Корченко А.Г. Анализ и определение понятия риска для его интерпретации в области информационной безопасности – Корченко А.Г., Иванченко Е.В., Казмирчук С.В. Научно-технический журнал “Защита информации” №3, 2010 С. 5-10.

2. Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения. – К.: “МК-Пресс”, 2006. – 320с., ил.

3. К вопросу об определении понятия “риск” [Электронный ресурс] / В.В. Индеева // РГМУ им. акад. И.П. Павлова Рязань, Россия – Режим доступа к статье: http://www.rae.ru/zk/arj/2007/02/Indeeva.pdf

4. Технологии и инструментарий для управления рисками / Симонов С. С. // Опубликовано: Информационный бюллетень Jet Info № 2 (117)/2003 стр. 3 – 32.

5. Технологии анализа рисков. Окончание. [Электронный ресурс] / Компьюлинк – Режим доступа: http://pda.cio-world.ru.

6. Широков К. П. “Большой советской энциклопедии” [Электронный ресурс] / “Советская энциклопедия” в 1969 — 1978 годах в 30 томах. – Режим доступа: http://slovari.yandex.ru.

УДК 681.3+681.031

Н.И. Алишов, доктор технических наук,
(Национальный авиационный университет, Украина),
В.А. Марченко, кандидат технических наук, А.Н. Мищенко, аспірант
(Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины)

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ VOIP С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОСВЕННОГО ШИФРОВАНИЯ

В статье рассматриваются вопросы связанные с особенностью применения метода косвенного шифрования в системах VoIP. Приводятся преимущества и недостатки применения указанного метода шифрования для защиты разговоров. Представлена концептуальная схема построения системы защиты для переговоров и описаны их особенности.

Большинство известных современных алгоритмов компьютерного шифрования не отвечают условиям абсолютной безопасности по Шеннону [1]. Это определяет априорную уязвимость используемых криптосистем, так как они построены на основе алгоритмов для которых не доказана теоретическая криптостойкость.

Шеннон сформулировал основные требования, предъявляемые к надежным шифрам. В частности, ключ для нераскрываемого шифра должен обладать тремя критически важными свойствами:

- быть истинно случайным – содержать истинно случайные последовательности;
- совпадать по размеру с заданным открытым текстом – быть не меньше открытого текста;
- применяться только один раз – не допускается повторное применение ключа.

Этим требованиям отвечает схема одноразовых блокнотов (One-time pad), реализованная ранее Гильбертом Вернамом [2].

При этом условия, которым должен удовлетворять ключ, настолько сложны, что практическая реализация криптоалгоритма, отвечающего трём требованиям абсолютной криптоустойчивости, является трудно осуществимой. Современные реализации одноразовых блокнотов используются только для передачи сообщений наивысшей секретности.

Использование в качестве поточного крипто алгоритма метод одноразовых блокнотов гарантирует абсолютную надежность и криптостойкость всей системы. Авторами предложен новый подход, для компьютерной реализации принципов заложенных в одноразовых блокнотах, который назван методом косвенного шифрования [3, 4].

Основная идея метода заключается в том что у отправителя и получателя имеются одинаковые массивы данных, которые являются секретными ключами. Байты информации, подлежащие защите, заменяются (по определенному алгоритму) байтами секретного массива. Полученный новый массив байт размером исходного сообщения передается адресату. Полученный по каналу массив данных, подвергается обратному преобразованию: байты заменяется байтами секретного файла (зеркальный алгоритм). Этот метод способен обеспечить абсолютную безопасность по Шеннону, поскольку объединяет принцип одноразовых блокнотов и небольшое количество алгебраических преобразований, к тому же он легко реализуется на большинстве существующих программно-аппаратных средствах, и при его использовании можно:

- создать средства для заполнения ключа истинно случайными числами;
- вне зависимости от количества передаваемых данных, размер ключа будет равен объему передаваемой информации;
- обеспечить однократность применения ключа.

Особенностью метода косвенного шифрования является то, что при шифровании одного и того же байта открытого текста всегда получаются различные байты шифротекста. Та-

ким образом, отпадает необходимость «нормализации» шифруемых сообщений для противодействия атакам с использованием статистических методов.

Для реализации метода косвенного шифрования могут использоваться как программные средства, так и аппаратные подсистемы выполняющие шифрование/дешифрование потоков полезной информации и способные генерировать истинно случайные числа, а также содержащие средства для хранения контейнера-ключа (рис.1) с возможностью его перезаписи (замены).

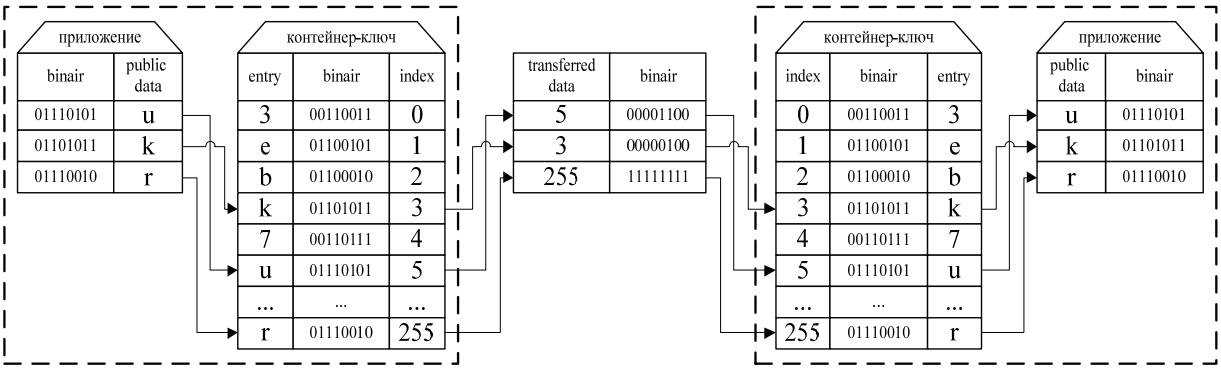


Рис.1. Общий алгоритм использования контейнера-ключа

В случае использования программных реализаций метода косвенного шифрования после установки соответствующего ПО на целевую систему необходимо дополнительно обеспечить организационную защиту помещений, где размещены эти криптосистемы.

Представленная криптосистема призвана обеспечить:

- качественно новый уровень криптографической стойкости шифруемой потоковой информации;
- шифрование в реальном времени больших объемов информации;
- максимальную гибкость и прозрачность в применении для обеспечения безопасности сторонних сетевых приложений.

В настоящее время всё большую популярность пользуются различного рода приложения для проведения телефонных разговоров видеоконференций, презентаций и т.п. через глобальные телекоммуникационные сети. Соответственно вопросы защиты данных в таких системах выходят на передний план, так как удобство и большая гибкость в организации подобных систем сопряжена с повышенными рисками, связанными с возможным несанкционированным доступом или прослушиванием[5].

При построении системы защиты для VoIP приложения кроме наличия общих угроз и связанных рисков дополнительно учитываются специфические риски, связанные с возможностью перехвата и прослушивания самих разговоров, а так же перехват и анализ сигнальной информации используемых протоколов, которая позволяет определить факт наличия и времени проведения переговоров.

Авторами предлагается вариант реализации метода косвенного шифрования, обеспечивающий гибкую интеграцию решению с VoIP приложениями, который заключается в создании промежуточной «прослойки», таким образом, что приложение может выйти в сеть только через этот прокси-сервер. Таким образом, достигаются две цели:

- защита полезной нагрузки VoIP;
- защита сигнальной информации стека VoIP протоколов.

К примеру, на двух ЭВМ установлены VoIP приложения и предлагаемая система защиты (рис.2), в таком случае реализуется следующая схема:

- Система защиты постоянно следит за сетевой активностью VoIP-приложения;
- VoIP-приложение инициализирует сетевое подключение к удалённой ЭВМ;

▪ Система защиты блокирует передачу информации от приложения в сеть, перенаправляет поток данных от VoIP-приложения на себя и выполняет подключение от своего имени к запрашиваемой удалённой системе. После установления соединения с удалённой криптосистемой начинается обмен потоками зашифрованной полезной информации.

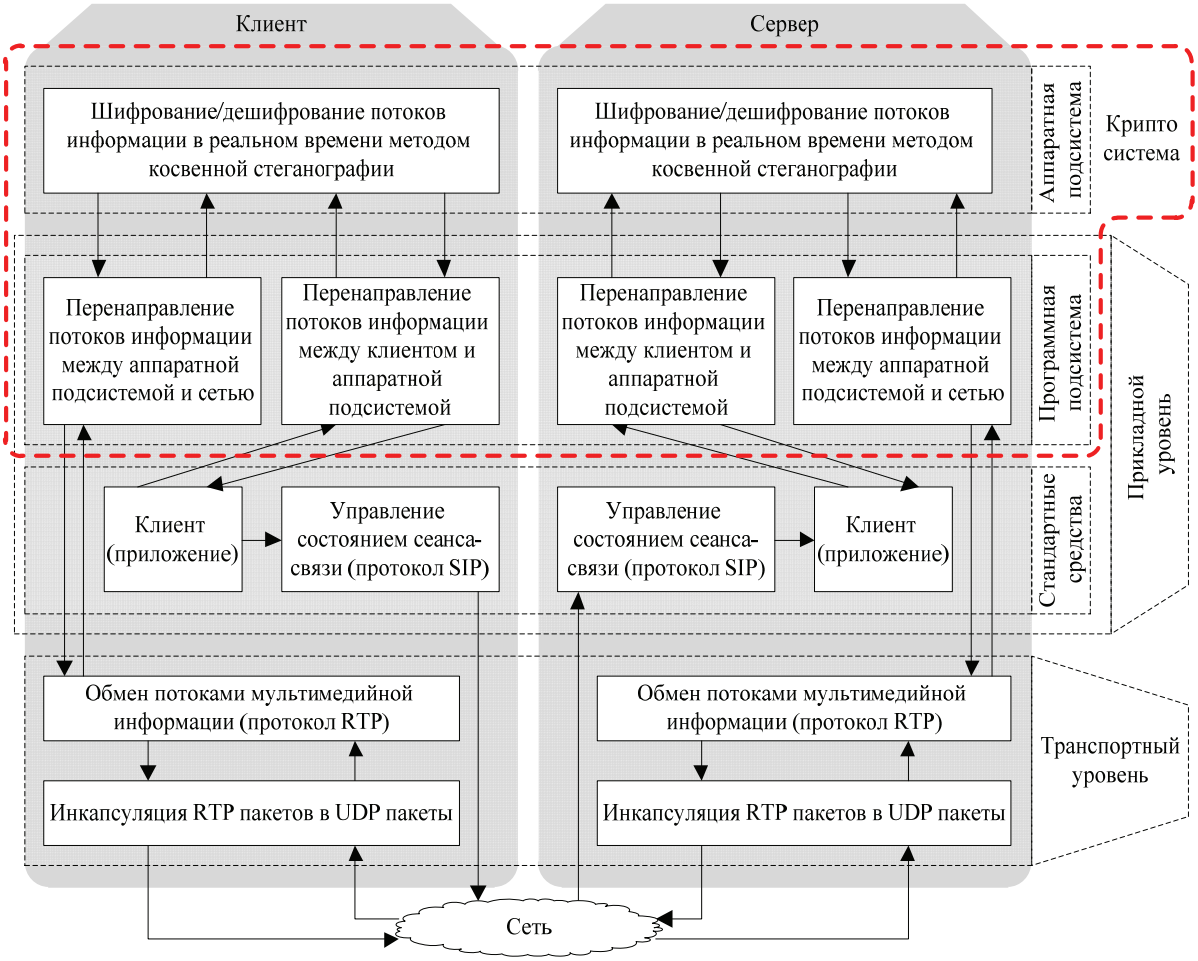


Рис. 2. Концептуальная схема функционирования системы защиты

В такой реализации криптосистема сама обеспечивает передачу данных по сети и следит за корректностью передаваемой информации. При этом защита передаваемой информации на уровне полезной загрузки (содержимое RTP пакетов или вышележащих протоколов) реализуется прозрачным шифрованием самого содержимого, а остальная информация пропускается в неизменённом виде. Таким образом, для проведения защищенного разговора достаточно установить программный или аппаратный комплекс защиты (в зависимости от применяемой реализации) на оконечные переговорные устройства(IP-телефон, ПК пользователя и т.п.) и доступ к содержимому разговора будут иметь только указанные пользователи, но при этом вся служебная информация будет оставаться общедоступной. Такая реализация позволяет применять данную систему защиты помимо VoIP систем на базе стандартного стека протокола также в проприетарных системах (Skype и подобных) в которые используемые протоколы неизвестны или недоступны их спецификации.

Для противодействия перехвату и анализа сигнальной информации системой защиты шифруется информация уже на уровне сигнальных протокол(SIP, H.323). В такой реализации системы защиты устанавливаются на входе сетей абонентов, и фактически защищается только канал между установленными системами защиты, при этом внутри сетей абонентов вся сигнальная информация передается в открытом виде. Поэтому в таком случаи необходимо использовать гибридную защиты, при которой помимо шифрования канала между сетями абонентов дополнительно шифруются сами переговоры. Гибридная реализация не защищает

от угрозы перехвата сигнальной информации, находясь внутри сети абонента, но не позволяет прослушивать сами переговоры.

Заключение

Применение предлагаемой системы защиты, использующей для шифрования метод косвенного шифрования, позволяет реализовать качественно новый уровень безопасности, обладающей криптостойкастью выше других потоковых криптосистем. Сама система потокового шифрования может работать на каналах, обладающих различными свойствами и качеством, при этом криптостойкость передаваемой информации остается на достаточно высоком уровне.

В методе косвенного шифрования алгоритм замены сегментов открытой информации на соответствующие сегменты секретного контейнера-ключа является потоковым, что делает алгоритм приемлемым для применения в системах шифрования потоковой информации. Если контейнер-ключ содержит истинно случайные числа и используется однократно, то метод обеспечивает абсолютную криптостойкость по Шеннону.

Безопасность и конфиденциальность передаваемой информации обеспечивается при помощи защитного программно-аппаратного комплекса, интегрируемого в существующие, стандартные системы интерактивного общения. Защитный программно-аппаратный комплекс состоит из двух подсистем - программной и аппаратной. Аппаратная подсистема выполняет шифрование/дешифрование в реальном времени получаемых от программной подсистемы потоков информации.

Программная подсистема устанавливается непосредственно на ЭВМ клиента. Важным достоинством программной подсистемы является гибкость её интеграции в существующие решения систем интерактивного общения, без внесения существенных изменений в текущую инфраструктуру. Именно такую функциональность обеспечивает программная подсистема защитного программно-аппаратного комплекса, шифруется только полезная медиа-информация.

Список литературы

1. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – 830 с.

2. Vernam G.S. Cipher Printing Telegraph Systems For Secret Wire and Radio Telegraphic Communications // Journal of the IEEE. – 1926. – V 55. – P. 109–115.

3. Алишов Н.И. Косвенная стеганография // Intern. Book Series "INFORMATION i SCIENCE & COMPUTING" (Sofia: ITHEA). – 2009. – N 11. – P. 53–58.

4. Алишов Н.И., Марченко В.А., Оруджева С.Г. Косвенная стеганография как новый способ передачи секретной информации // Комп'ютерні засоби, мережі та системи: зб. наук. пр. – К.: НАНУ, Ін-т кібернетики, 2009. – № 8. – С. 105–112.

5. Ransome J.F., Rittinghouse J. Voice over Internet Protocol (VoIP) Security. – N.Y.: Digital Press, 2004. – 432 pp.

УДК 004.732

Л.В. Буланая, асистент,
В.Г. Павлов, кандидат технических наук, доцент
(Национальный авиационный университет, Украина)

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ MESH-СЕТЯХ

В статье анализируются особенности защиты информации в беспроводных сетях: безопасность аутентификации и обеспечение доступности информации. Рассмотрены проблемы, связанные с ограниченной зоной покрытия в беспроводных сетях из-за специфики распространения радиоволн. Продемонстрированы преимущества, которыми обладают беспроводные ячеистые сети - Wireless Mesh Network: масштабируемость и надежность.

Прошло чуть больше 10 лет, как был впервые разработан и опубликован стандарт беспроводного Ethernet IEEE 802.11 (Wi-Fi), но сегодня трудно представить себе офис учреждения или учебный класс ВУЗа без возможности беспроводного подключения компьютеров к локальной сети. Причины такого быстрого распространения беспроводных технологий очевидны:

- быстрота развертывания и подключения;
- отсутствие необходимости в прокладке громоздких кабельных линий;
- простота в наращивании сети и изменении ее конфигурации;
- меньшие затраты по сравнению с традиционными проводными сетями.

Правда, в беспроводных сетях сложнее реализовать процедуру аутентификации при подключении нового пользователя к сети. Понятно, что для компьютеров, стационарно подключенных к определенным узлам сети, построить так называемый список доступа ACL (Access Control List) можно однократно, а изменения в него будут вноситься только при перераспределении прав пользователей. Появление «чужих» компьютеров в таких сетях является событием неординарным и будет требовать вмешательства администратора, а в крайнем случае может рассматриваться как несанкционированное подключение, несущее угрозу информационной безопасности. В беспроводных сетях количество подключенных компьютеров не является постоянным, а появление в зоне покрытия каких-либо иных компьютеров – вещь вполне обычная. Таким образом, процедура аутентификации здесь не основана на наличии обязательного физического подключения компьютера кабелем, а значит, алгоритм аутентификации должен быть более сложным.

В процессе эволюции протокола IEEE 802.11 мы можем наблюдать, как постепенно совершенствовалась и усложнялась процедура аутентификации.

Первоначально для опознания «своего» компьютера использовался его MAC-адрес, а для поиска «своей» точки доступа - идентификатор беспроводной локальной сети - SSID (Service Set Identifier). SSID позволяет логически отличать сети друг от друга, но ни в коей мере не обеспечивает конфиденциальность данных. Аутентификация, при которой для подключения достаточно знать SSID называется открытой (Open Authentication).

Более защищенной является аутентификация с общим ключом (Shared Key Authentication). Она подразумевает наличие у абонента статического ключа шифрования WEP (Wired Equivalent Privacy), иначе подключение к сети невозможно. Далее с помощью данного ключа шифруется специальное сообщение (Challenge Text), которое отправляется точке доступа, где с помощью такого же WEP-ключа расшифровывается. Если расшифровывание проходит успешно, то подключение абонента к сети разрешается.

Как видим, в данном случае используется классическая система с симметричным шифрованием. Однако здесь один и тот же ключ используется для всех абонентов точки доступа, а значит, на основе статистической обработки большого количества перехваченных зашифрованных сообщений может быть вычислен WEP-ключ. По этой причине аутентификация с

общим ключом не считается достаточно надежной и на сегодняшний день не рекомендуется для применения.

В ноябре 2002 г. была анонсирована спецификация WPA (Wi-Fi Protected Access), которая обеспечивает уровень безопасности больший, чем WEP. Это обусловлено тем, что в WPA поддерживается шифрование по стандарту TKIP (Temporal Key Integrity Protocol). В нем используется пофреймовое изменения ключей шифрования, что значительно уменьшает шансы взлома ключей на основе статистической обработки.

Спецификация WPA2 представляет еще более высокий уровень защиты процедуры аутентификации в беспроводных сетях, поскольку поддерживается шифрование по стандарту AES (Advanced Encryption Standard), который считается более криптоустойчивым по сравнению с применяемым в WEP алгоритмом RC4.

Однако сложность аутентификации в Wi-Fi сетях не является единственной проблемой. Дело в том, что беспроводные сети чувствительны к условиям распространения радиосигнала. Даже в идеальном случае дальность распространения сигнала не превышает 100 м при мощности передатчиков порядка 100 мВт. Такие физические факторы, как строительные материалы и характер конструкций (многоэтажные бетонные здания, толстые стены и потолки), значительно уменьшают зону надежного приема радиосигнала. В результате ухудшается показатель доступности информации, что, конечно, недопустимо.

Увеличение зоны покрытия может быть достигнуто за счет более рационального расположения точек доступа, когда формируется ячеистая структура, наподобие сот мобильной телефонной связи. Для определения границы действия точек доступа на практике используется ноутбук с установленной программой измерения скорости передачи, например, ***Network Stumbler*** (www.stumbler.net). Перемещая ноутбук по офису можно определить расстояния, на котором скорость падает до порогового значения и где требуется установить новую точку доступа. Понятно, что такой способ «оптимизации» не предполагает гибкого расширения сети и имеет ограниченное применение.

Поиск решения проблемы потери мощности сигнала и ограниченности зоны покрытия для сетей Wi-Fi привел к разработке технологии Wireless Mesh Network (WMN - ячеистая сеть). В отличие от вышеупомянутых ячеек, образованных точками доступа, здесь все основано на объединении абонентских компьютеров. За основу взята существующая в стандарте 802.11 возможность специального режима Ad-Hoc (точка-точка), которая была первоначально предназначена для создания одноранговой (P2P) сети беспроводных клиентов. В этом режиме каждый узел представляет собой также маршрутизатор, способный передавать трафик другим узлам. Подход P2P обеспечивает высокую производительность, требуемую в ячеистых сетях.

WMN образуется на основе множества соединений «точка-точка» узлов находящихся в области радиопокрытия друг друга, расширяет функциональность беспроводного доступа в Интернет и позволяет реализовывать точки доступа с охватом на порядок более высоким, чем у привычных хот-спотов. С возможностью обеспечения защищенного беспроводного покрытия как внутри помещений, так и на улицах, в городской местности или в крупных населенных пунктах, Wireless Mesh может быть использована для быстрого развертывания, в частности, сети связи для целей внутренней безопасности или в случаях чрезвычайных ситуаций в городе.

Для применения в WMN режим Ad-Hoc был расширен в части поддержки возможности маршрутизации. В беспроводной ячеистой сети протокол маршрутизации аналогичен IGP (Interior Gateway Protocol). Поэтому внутри ее собственного «домена» организация маршрутов «точка-точка», многоточечных и многоадресных выполняется способом, полностью совместимым с внешними протоколами коммутации и маршрутизации.

Каждый узел в WMN вычисляет исходное дерево, которое определяет пути ко всем соседним узлам в пределах досягаемости радиосигнала. Соседние узлы связываются друг с другом посредством специальных служебных пакетов, распространяемых в сети. Поскольку ситуация в сети может со временем меняться из-за изменения состава и расположения або-

нентов, процесс опроса периодически повторяется, что обеспечивает динамическую сквозную реконфигурацию.

Для максимизации производительности при передаче трафика от одного края сети к другому могут вычисляться метрики канала, как и в других протоколах маршрутизации. Эти метрики способны базироваться на полосе пропускания, уровне сигнала, его стабильности, задержке или других параметрах канала.

Помимо обеспечения высокой производительности и качественной связи Wireless Mesh обеспечивает высокую надежность сети, поскольку отключение или выход из строя одного из абонентских компьютеров вызовет лишь изменение маршрута передачи сообщений. Сеть автоматически переопределяет маршруты передачи данных между абонентами, что позволяет предотвратить сбои коммуникаций. При этом управление такого рода сетями является децентрализованным. Поскольку у каждого абонента имеется свой сетевой процессор и беспроводной интерфейс, то исчезает необходимость в централизованной коммутации. Иными словами, топология ячеистых сетей предусматривает либо непосредственную связь между абонентами, либо транзитную передачу данных по целой цепочке абонентов. Следовательно, перед тем как начать обмен данными, каждый абонент должен «решить», будет ли он выполнять функции точки доступа, служить транзитным устройством или сочетать обе роли. Далее абоненты определяют своих соседей, используя протокол типа «запрос/ответ», а также замеряют характеристики коммуникационных каналов: мощность принимаемого сигнала, пропускную способность, задержку и частоту ошибок. Абонентские компьютеры обмениваются этими значениями, а затем каждый из них на основе этой информации выбирает наилучший маршрут коммуникаций со своими соседями.

Процессы обнаружения и выбора наиболее благоприятного маршрута выполняются в фоновом режиме, так что каждый абонентский узел располагает актуальным списком соседей. В случае недоступности по тем или иным причинам какого-либо абонента соседние могут быстро реконфигурировать свои таблицы и вычислить новый оптимальный маршрут. Способность самоконфигурации и самовосстановления делает ячеистые сети очень надежными. Беспроводные ячеистые сети могут состоять из сотен и даже тысяч абонентов, что позволяет легко расширять их и обеспечивать необходимую избыточность.

Интеллектуальность вообще является одной из особенностей сетей Wireless Mesh, и можно сказать, что она интегрирована непосредственно в сеть и обеспечивает высокий уровень надежности, а это немаловажно как в экстренных случаях, так и для мобильных удаленных сотрудников. Это исключает необходимость ручного администрирования сети и играет важную роль для оперативного развертывания оборудования. Как только сеть запускается в эксплуатацию, она начинает автоматически управлять своей работой, благодаря функциям самовосстановления и самоадаптации.

Еще один фактор, определяющий перспективность применения WMN, это повышение скорости передачи информации. Дело в том, что физические параметры радиоканалов таковы, что на более коротких расстояниях пропускная способность сети выше. Причиной могут быть помехи и другие факторы, чье действие накапливается по мере увеличения расстояния. И потому одним из способов повышения пропускной способности сети становится передача данных через несколько узлов, разделенных небольшими расстояниями.

Следует учесть, что пространственное разделение — еще одно преимущество сетей Wireless Mesh по сравнению с сетями, использующими одну точку доступа. Если несколько абонентов пытаются одновременно пользоваться сетью, могут возникать виртуальные «заторы», замедляющие ее работу. Этот эффект «бутылочного горлышка» характерен для крупных корпоративных сред. Он выражается в виде резкого снижения пропускной способности сети, даже при условии достаточно широкого внешнего канала, соединяющего интрасеть с внешним миром. Дело здесь в том, что точки доступа стандартов 802.11 предоставляют среду с разделением по времени, в которой в данный момент времени лишь одна из них может вести передачу данных.

В противоположность этому в сетях ячеистой топологии множество устройств могут подключаться одновременно через разные цепочки коммутируемых узлов, благодаря чему формируются параллельные каналы передачи информации, что в большинстве случаев не снижает производительность сети.

Абонентские узлы остаются вполне автономными устройствами, способными самостоятельно управлять своим функционированием, и в то же время являются компонентом общей сети, допускающим управление из центральной точки. Используя SNMP, системный администратор может выполнять мониторинг и конфигурировать отдельные элементы, узлы, домены или всю сеть, а протокол обнаружения лишь упрощает данную задачу посредством поиска и локализации отдельных узлов для их отображения на дисплее управления.

Все указанные особенности сетей Wireless Mesh нашли свое отражение в разработке протокола IEEE 802.11s, который практически не затрагивает физический уровень распространения сигнала, а посвящен вопросам маршрутизации пакетов. Начатая в 2003 году разработка была практически завершена к 2008 году, поэтому разработчики сетевого оборудования (CISCO, NORTEL и др.) на сегодняшний день предлагают целый спектр уже готовых решений.

Выводы

1. Рассмотрены основные факторы, определяющие особенности беспроводных сетей:
   - необходимость применения более защищенного алгоритма аутентификации;
   - обеспечение доступности информации за счет формирования зоны надежного приема сигнала.
2. Проанализированы преимущества, которыми обладают ячеистые беспроводные сети WMN:
   - высокая надежность передачи информации за счет дублирования каналов связи;
   - самовосстановление и саморегулирование, что не требует ручной настройки;
   - более высокая скорость передачи, определяемая уменьшением расстояния между источником сигнала и приемником;
   - имеются значительно большие возможности по расширению или изменению топологии сети.
3. По вышеуказанным причинам перспективность широкого внедрения сетей Wireless Mesh не вызывает сомнений.

Список литературы

1. IEEE P802.11s/D1.08. Amendment: Mesh Networking. – IEEE, January 2008.
2. Беспроводные сети Wi-Fi / А. В. Пролетарский, И.В. Баскаков, Д. Н. Чирков; – М.: БИНОМ, 2007. – 178 с
3. Wi-Fi. Беспроводная сеть / Джон Росс; пер. с английского В.А. Ветлужских. – М.: НТ Пресс, 2007. – 320 с.
4. http://juniper.kz/nortel/12_4.htm
5. http://www.lastmile.su/issue/2008/2/6
6. http://ko.com.ua/node/24637
7. http://habrahabr.ru/blogs/the_future_is_here/79360/
8. http://research.microsoft.com/en-us/projects/mesh/
9. http://www.meshwlan.com/

УДК 681.3:004.56.55

О. М. Весельская, ассистент
(Национальный авиационный университет, Украина)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

В данной статье рассмотрены беспроводные самоорганизующиеся сети, основные типы атак, проводимые на них и методы повышения безопасности. Выявлены максимально возможные на сегодняшний день средства и методы защиты для обеспечения безопасности в данных сетях.

В последнее время невероятно быстро развиваются беспроводные сети (БС) передачи информации. По пропускной способности они не уступают выделенным медным линиям. Помехоустойчивость, надежность и защищенность современных протоколов передачи сделали БС передачи информации явлением повсеместным, а оборудование для них – массовым продуктом. Бесспорным лидером на рынке продуктов для БС является оборудование, отвечающее стандартам IEEE 802.11. В данной работе приведена классификация БС стандарта IEEE 802.11, основное внимание будет уделено беспроводным самоорганизующимся (Ad-Hoc) сетям.

В эпоху коммуникационных устройств, социальных сетей и прочих сервисов сообщение на расстоянии и мгновенный обмен информацией кажутся чем-то само собой разумеющимися. Однако возможность оставаться на связи именно в те моменты, когда коммуникационная инфраструктура оказывается нарушенной, приобретает особое значение. Парализовать инфраструктуру сотовой связи могут не только масштабные природные катаклизмы – даже банальное отключение электропитания способны превратить наши мобильные устройства в бесполезные игрушки. В подобных случаях все более привлекательным вариантом становится создание Ad-Hoc сети. Вместе с тем, само понятие БС, приводит к возникновению большого количества возможных уязвимостей для атак и проникновений, которые были бы гораздо затруднены в стандартной проводной сети. Из-за динамически меняющейся топологии сети и отсутствия централизованного управления, данный вид сетей уязвим для ряда атак. Поэтому аспект безопасности является очень важным в таких сетях.

В указанной научной литературе приведены криптографические методы для БС в целом [1], стандарты безопасности [2], а также угрозы, атаки и подходы к защите информации [3]. Приведены разные типы атак, проводимые на Ad-Hoc сети[4]. Для более глубокого изучения данной темы необходимо иметь общее представление об обеспечении максимальной безопасности, учитывая специфику Ad-Hoc сетей. Эффективность подобных работ в значительной мере определяется правильной оценкой эволюционных процессов, свойственных для отрасли информационных технологий. Целью данной статьи является на базе изученной научной литературы и статей [1-15] исследовать Ad-Hoc сети, выявить угрозы криптозащиты, источники их уязвимости, типы атак и, на основании данного исследования, составить перечень методов и средств защиты для обеспечения максимальной безопасности в Ad-Hoc сети.

Первый международный стандарт IEEE 802.11, разработка которого была завершена в 1997г., является базовым стандартом и определяет протоколы, необходимые для организации беспроводных локальных сетей Wireless Local Area Network (WLAN) [5]. Организация WECA – Wireless Ethernet Compatibility Alliance [6], стала выступать в качестве гаранта совместимости оборудования для БС от разных производителей. В настоящее время членами WECA являются более 80 компаний, в том числе Cisco, Lucent, 3Com, IBM, Intel и ряд других известных производителей сетевого оборудования. В терминологии WECA соответствие оборудования требованиям IEEE 802.11 обозначается как Wi-Fi (Wireless Fidelity – дословно переводится на русский язык как "беспроводная точность") [7].

Существуют различные подходы к классификации беспроводных технологий. По дальности действия: беспроводные персональные сети (WPAN — Wireless Personal Area Networks) [8]. Примеры технологий — Bluetooth. Зона действия – до 10 м; WLAN [9]. Примеры технологий — Wi-Fi. Зона действия – до 100 м.; беспроводные сети масштаба города (WMAN — Wireless Metropolitan Area Networks) [10]. Примеры технологий — WiMAX[11]. Зона действия – до 50 км. По технологии: локальные сети, Ad-Hoc сети. Основные различия между этими типами сетей – параметры передачи.

Ad-Hoc сети. Суть Ad-Hoc сетей – предоставление абоненту возможности доступа к различным сетевым услугам посредством передачи и приема «своего» трафика через соседних абонентов. На данный момент широким фронтом идут исследования и применения Ad-Hoc сетей в следующих сферах: военная связь, интеллектуальные транспортные системы, локальные сети, сенсорные сети. В настоящее время существует несколько «базовых» технологий для самоорганизующихся сетей: Bluetooth; ZigBee; WiFi 802.11

Ключевой задачей является обеспечение требуемого уровня безопасности информации, циркулирующей в сети. Острота этой проблемы связана прежде всего с используемой средой передачи данных – радиоэфиром. Осуществить перехват информации в радиоэфире намного проще, чем в проводных и кабельных сетях, – достаточно обзавестись комплектом пользовательского оборудования. Поэтому в спецификации стандартов 802.11 определен протокол защиты БС WEP (Wired Equivalent Privacy). WEP – это криптографический механизм, созданный для обеспечения безопасности сетей стандарта 802.11. Этот механизм разработан с единственным статическим ключом, который применяется всеми пользователями. Исследование WEP-шифрования выявило уязвимые места, из-за которых атакующий может полностью восстановить ключ после захвата минимального сетевого трафика. Второй протокол защиты, появившийся позже – WPA (Wi-Fi Protected Access). Данный стандарт тоже подвержен взлому, однако в гораздо меньшей степени. Обычно для сведения на нет усилий по взлому WPA требуется регулярно менять ключи шифрования, этого часто оказывается достаточно.

Источники уязвимостей в Ad Hoc сетях:

Уязвимость каналов к прослушиванию и подкладыванию сообщений, в связи с общей доступностью среды передачи, как и в любых БС. Незащищённость узлов от злоумышленника, который легко может получить один в распоряжение, так как обычно они не находятся в безопасных местах, таких как сейфы. Отсутствие инфраструктуры делает классические системы безопасности, такие как центры сертификации и центральные серверы, неприменимыми. Динамически изменяющаяся топология требует использования сложных алгоритмов маршрутизации, учитывающих вероятность появления некорректной информации от скомпрометированных узлов или в результате изменения топологии.

Атаки на протоколы маршрутизации в Ad Hoc сетях. Как и в проводных сетях связи, в беспроводных Ad-Hoc сетях существует два вида атак против протоколов маршрутизации: пассивные атаки и активные атаки[14].

Пассивные атаки. Пассивные атаки, как правило, подразумевают несанкционированное «подслушивание» пакетов, которые посылают протоколы маршрутизации. В этом случае атакующая сторона не прерывает работу маршрутизирующего протокола, а только пытается узнать ценную информацию, прослушивая трафик маршрутизации. Главное преимущество атакующей стороны при пассивных атаках заключается в том, что в беспроводной среде связи атаку обычно невозможно обнаружить. И так же сложно защитить от таких атак. Более того, маршрутная информация может раскрыть информацию о взаимодействии между узлами или выявить их адреса. Если маршрут к конкретному узлу сети используется более часто, чем к другим узлам, этот узел может привести к остановке работы всей сети. Другая «интересная» информация, которую можно извлечь из маршрутных данных заключается в расположении узлов. Даже когда было бы невозможно установить точное местоположение узла, можно узнать информацию о сетевой топологии.

Активные атаки**.** Для осуществления активной атаки недоброжелатель должен уметь проникать в произвольный пакет сети. Цель может заключаться в том, чтобы привлечь (перенаправить) пакеты, предназначенные другим узлам, к атакующей стороне для анализа или просто для нарушения работы сети. Главное отличие по сравнению с пассивными атаками заключается в том, что активные атаки могут быть иногда обнаружены. Это делает их менее привлекательными для большинства взломщиков.

Типы активных атак, которые могут быть легко осуществлены в Ad Hoc сетях [15]:

1. Чёрная дыра. В этом случае «недружелюбный» узел использует протокол маршрутизации для объявления себя в качестве кратчайшего пути к узлам, чьи пакеты он хочет получить. В протоколе, основанном на широковещании, взломщик слушает запросы маршрутов. Когда взломщик получает запрос маршрута к требуемому узлу, он посылает ответ с чрезвычайно коротким маршрутом. Если злополучный ответ достигает узел до того как придет верный ответ, то фальшивый маршрут создан.

2. Переполнение таблицы маршрутизации. При таком способе атаки вредитель пытается создать маршруты к несуществующим узлам. Цель атаки заключается в создании маршрутов, которые бы предотвратили создание новых маршрутов путем переполнения таблицы маршрутизации протокола.

3. Спуфинг. Подделка идентификации. Цель атаки - заставить остальные узлы считать узел, проводящий атаку, не тем, кем он является на самом деле. Успешно проведя атаку, злоумышленник получает возможность проводить какие-либо действия от чужого имени, тем самым нарушается конфиденциальность.

4. Испытание бессонницей. Цель атаки – израсходовать энергию целевого узла, запасённую в его источнике питания. Побочным эффектом испытания бессонницей является нарушение доступности. Для осуществления этой атаки могут быть использованы другие, например чёрная дыра, для направления большого трафика на целевой узел.

6. Эгоистичность. Склонность узла не предоставлять услуги другим, например услугу маршрутизации. Цель атаки – сохранить собственные ресурсы, например заряд батареи. Проблема эгоистичности узлов нова и особенно актуальна для самоорганизующихся сетей, так как узлы принадлежат разным административным доменам. Данная атака отрицательно влияет на доступность.

7. Жадность. Склонность узла использовать разделяемые ресурсы больше остальных, например среду передачи данных. Цель атаки – удовлетворить собственные потребности без учёта, вытекающего из этого ущербного положения остальных узлов. По сути, жадность и эгоистичность — две стороны одной монеты. Данная атака отрицательно влияет на доступность.

8. Обнаружение местоположения. Цель атаки – восстановление топологии прилегающей сети или восстановление цепочки узлов, расположенных на маршруте к целевому узлу, путём анализа полученной информации.

9. Постановка помех. «Засорение» канала передачи данных посторонними шумами. Цель атаки – сделать невозможным передачу данных через этот канал. Данная атака нарушает доступность.

Методы повышения безопасности в Ad-Hoc сетях: доступность серверов через некоторое количество узлов, схема разделения секрета, обновление долей секрета, поддержание различных путей, обнаружение маршрутов путём передачи сообщений, схема вероятностной безопасной маршрутизации.

Выводы. Количество атак для БС растет и видоизменяется каждый день. Для обеспечения максимальной безопасности необходимо использовать максимально возможное количество средств защиты и постоянно обновлять их:

1. Всегда отключать Wi-Fi-адаптер

2. Избегать передачи приватной и личной информации при работе в общедоступных Wi-Fi сетях.

3. Постоянно обновлять защитные программы, операционную систему, брандмауэр**.**

4. Проверять подлинность идентификатора сети (SSID) – это поможет предотвратить такую атаку как спуфинг.

5. Отключать функцию «Общий доступ к файлам и принтерам».

6. Для обеспечения дополнительной безопасности Wi-Fi-соединения можно использовать зашифрованные соединения.

Перечисленные методы защиты позволяют реализовать современное оборудование совместимое со стандартом 802.11. Этот комплекс мер обеспечивает начальный уровень защиты, ниже которого при проектировании Ad-Hoc сети опускаться нельзя.

Список литературы

1. Лукин М.А. Стандарты беспроводной связи/ М.А. Лукин //Современная электроника. — 2005. — №1. — С.10—12.

2. Галатенко В. А. Стандарты информационной безопасности / В. А. Галатенко. — Москва: Интернет-университет информационных технологий. — 2006. — 264 с.

3. An Initial Security Analysis of the IEEE 802.1x Standart [Electronic sourse] Arunesh Mishra, William A. Arbaugh.// Department of Computer Science University of Maryland College Park. — Maryland. — 2002 .— P. 56. — Mode of access: http://www.cs.umd.edu/~waa/1x.pdf

4. Анализ прорблем защиты от внешнего нарушителя. [Электронный ресурс] Статьи, аналитика. — 2010. — № 9. — С.12 -18. — Режим доступа: www.securitylab.ru

5. Томас Мауфер, WLAN: Практическое руководство для администраторов и профессиональных пользователей. — КУДИЦ–Образ. —2005. –354 с.

6. Wireless Ethernet Internet Security. [Electronic source] Internet Security. — Mode of access: www.wirelessethernet.org

7. Особенности настройки Wi-Fi сетей. [Электронный ресурс] Статьи 2009. — № 2. — С.24–26. — Режим доступа к журналу: www.telecom-master.ru

8. Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements. Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs (tm)) IEEE 802.15.1–2005. IEEE Standard for Information technology — 112 p.

9. Telecommunications and information exchange between systems– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications IEEE 802.11-1999. Information technology — 68 p.

10.В.А. Григорьев. Сети и системы беспроводного доступа. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распопов Ю.А. — Экотрендз – М.:, — 2005. — С.381.

11.Ю.Г. Писарев В ожидании WiMAX// Вестник связи — 2005. —№4 — С. 126 –130.

12.НАУКА – это ЖИЗНЬ!// [Электронный ресурс] Самоорганизующиеся беспроводные сети Сборник научно-познавательных статей, заметок и публикаций — 2010. — № 9. —12 с. — Режим доступа к журналу : http://nauka.relis.ru/index.htm.

13.Лукин М.А. Стандарты беспроводной связи/ М.А. Лукин //Современная электроника, — 2005. — №1. — С.10—12.

14.Запечников С .В. Информационная безопасность открытых систем. в 2-х т / С.В.Запечников, Г.Милославская, А. И.Толстой, Д. В Ушаков. Угрозы, уязвимости, атаки и подходы к защите. М.: Горячая Линия — Телеком, Т.1. —2006. — 536 с.

15.Андреа Голдсмит, Самоорганизующиеся беспроводные сети/ Андреа Голдсми, Мюриел Медар и Мишель Эффрос. Самоорганизующиеся беспроводные сети пер. с англ. В.П.Николаева — Днепропетровск: Эра. — 2007. — 384 с.

УДК 004.7

І.І. Пархоменко, кандидат технічних наук, доцент, О.О. Квачук
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ VPN В КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ

Ефективне застосування інформаційних технологій у поєднанні з технологіями в області інформаційної безпеки є найважливішим стратегічним чинником підвищення конкурентоспроможності сучасних підприємств і організацій. Технологія віртуальних приватних мереж VPN дозволяє вирішувати ці завдання, забезпечуючи зв'язок між мережами, а також між віддаленим користувачем і корпоративною мережею за допомогою захищеного каналу, «прокладеного» у загальнодоступній мережі Інтернет.

Вступ. Ефективне застосування інформаційних технологій у поєднанні з технологіями в області інформаційної безпеки є найважливішим стратегічним чинником підвищення конкурентоспроможності сучасних підприємств і організацій. Технологія віртуальних приватних мереж VPN дозволяє вирішувати ці завдання, забезпечуючи зв'язок між мережами, а також між віддаленим користувачем і корпоративною мережею за допомогою захищеного каналу (тунелю), «прокладеного» у загальнодоступній мережі Інтернет.

VPN - це об'єднання локальних мереж або окремих машин, підключених до мережі загального користування, в єдину віртуальну (накладену) мережу, що забезпечує секретність і цілісність інформації, яка передається по ній.

Суть даної технології полягає в тому, що при підключенні до VPN сервера за допомогою спеціального програмного забезпечення поверх загальнодоступної мережі у вже встановленому з'єднанні організується шифрований канал, що забезпечує високий рівень захисту переданої з цього каналу інформації за рахунок застосування спеціальних алгоритмів шифрування.

Використання технології VPN необхідно там, де потрібен захист корпоративної мережі від дії вірусів, зловмисників, некомпетентних користувачів, а також від інших загроз, які є результатом помилок в конфігурації або адміністрування мережі.

Постановка задачі. У міру розвитку компанії у керівництва обов'язково виникають питання: створення максимально гнучкої та ефективної системи управління підприємством, офісними майданчиками, створення єдиної системи документообігу, оперативного збору інформації та звітів зі складів і виробничих майданчиків, централізація інформаційно-фінансових потоків і т.д. Правильне вирішення цих питань дозволяє успішно керувати компанією в цілому, робить її гнучкою і динамічно розвивається. Світовий досвід великих компаній і корпорацій говорить про те, що таким рішенням є створення корпоративної мережі передачі даних. Сучасні IT-технології дозволяють створювати корпоративні мережі на основі високо надійних і захищених мереж передачі даних. Для найефективнішого впровадження такого рішення необхідно, щоби користувачі могли звертатися до корпоративної мережі, не встановлюючи комутоване з'єднання, що дозволяє скоротити чисельність модемів або взагалі відмовитися від них. Бажано обійтися і без виділених ліній, що з'єднують віддалені офіси. Все це має за мету підвищити продуктивність праці, так як співробітники можуть користуватися найшвидшими лініями зв'язку, які є в їх розпорядженні, замість того щоб витрачати час на встановлення комутованого з'єднання через банк модемів.

Метою матеріалу є розгляд, визначення і обґрунтування переваг впровадження і використання технологій VPN в корпоративних мережах.

Можна виділити три фундаментальні властивості, що перетворюють накладену корпоративну мережу, побудовану на базі мережі загального користування, у віртуальну приватну мережу: шифрування; аутентифікація; контроль доступу.

Тільки реалізація всіх цих трьох властивостей дозволяє захистити власні машини, сервери підприємства і дані, передані по фізично незахищених каналах зв'язку, від зовнішніх небажаних вторгнень, витоку інформації і несанкціонованих дій.

На рис. 1 наведена схема корпоративної мережі, захищеної з використанням VPN-технологій.

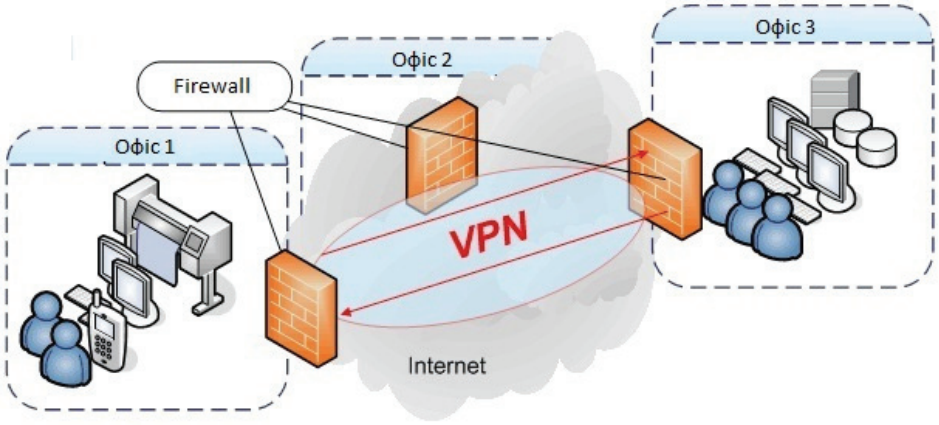


Рис.1 Корпоративна мережа, захищена з використанням VPN-технологій.

Переваги VPN-технологій

Програми віртуальних приватних мереж забезпечують шифровану передачу даних. Як правило, вони здатні безпечно виконувати різні функції віддаленого комп'ютера, не тільки передавати веб-трафік. Так що їх використання є одним з найбільш безпечних способів. Після налаштування програмного забезпечення, використовувати його дуже просто.

Вибір на користь даної технології для забезпечення безпеки мережних рішень обумовлений наступними її перевагами: простота використання; використання механізмів сповіщень і авторегістрації; відсутність будь-яких обмежень на кількість одночасних з'єднань по VPN; мобільність; простота підключення партнерів або клієнтів до своїх ресурсів; безперебійність роботи мережі VPN при наявності в мережах NAT-пристроїв; забезпечення проходження між собою прямого трафіку при будь-яких конфігураціях; менша вартість; підвищена надійність і безпека функціонування інформаційних систем; можливість підтримки інфраструктури електронного цифрового підпису.

Розглянемо їх особливості докладніше.

1. *Простота використання*. Це програмне, легко встановлюване (не вимагаюче практично ніяких настройок для клієнтського місця), інтегроване з мережним екраном рішення, що забезпечує безпеку як окремого комп'ютера в локальній мережі (або її фрагментів), так і локальної мережі в цілому.

2. *Використання механізмів сповіщень і авторегістрації***.** При включенні в мережу VPN чергового мережного ресурсу механізми сповіщень і авторегістрації забезпечують моментальну настройку всіх учасників VPN, пов'язаних з новим ресурсом, на роботу з ним.

3. *Відсутність будь-яких обмежень на кількість одночасних з'єднань по VPN***.** Рішення ідеально працює одночасно і в локальній мережі, і при взаємодії із зовнішніми ресурсами. Відсутні будь-які обмеження на кількість одночасних з'єднань по VPN. Забезпечується підтримка стандартних служб імен (DNS, WINS).

4. *Мобільність***.** Мобільний користувач може працювати при будь-яких переміщеннях, навіть якщо у нього на комп'ютері розміщені серверні служби (за рахунок підтримки технології динамічного DNS).

5. *Простота підключення партнерів або клієнтів до своїх ресурсів***.** При підключенні партнерів або клієнтів до своїх ресурсів:

a. організується точкове їх підключення до строго заданого ресурсу по заданих протоколах з криптографічною аутентифікацією трафіку, не залежною від IP-адреси джерела;

b. за рахунок формування кожним модулем VPN унікальних віртуальних адрес не потрібне узгодження адрес взаємодіючих мереж; система дозволяє об'єднувати в VPN-вузли з однаковими IP-адресами.

6. *Безперебійність роботи мережі VPN при наявності в мережах NAT-пристроїв***.** Присутні в мережях NAT-пристрої не порушують безперебійність роботи мережі VPN. Доступ до вузлів, що знаходяться за NAT-пристроями, можливий як шляхом настройки правил пропуску UDP-пакетів по заданому порту, так і за рахунок спеціальних механізмів підтримки автоматично створюваних на NAT-пристрої динамічних правил.

7. *Забезпечення проходження між собою прямого трафіку при будь-яких конфігураціях.* Модулі VPN забезпечують проходження між собою прямого трафіку при будь-яких конфігураціях, без перешифрування на проміжних вузлах.

8. *Менша вартість.* За наявності каскадів подвійне шифрування трафіку і, відповідно, його подвійна інкапсуляція не проводяться, що виключає витрати, пов'язані з цим.

9. *Підвищена надійність і безпека функціонування інформаційних систем.* Використовування симетричної ключової структури і наявність системи автоматичного розподілу ключів значно підвищують надійність і безпеку функціонування інформаційних систем в порівнянні з будь-якими іншими рішеннями VPN, що базуються на PKI-технологіях.

10. *Можливість підтримки інфраструктури електронного цифрового підпису.* В системі присутні всі необхідні рішення для підтримки інфраструктури електронного цифрового підпису, інтегровані з різними додатками.

Також маємо:

• можливість захисту всієї корпоративної мережі - від великих локальних мереж офісів до окремих робочих місць. Захист може бути поширена на всі ланки мережі - від сегментів локальних мереж до комунікаційних каналів глобальних мереж, у тому числі виділених і комутованих ліній;

• масштабованість системи захисту, тобто для захисту об'єктів різної складності і продуктивності можна використовувати адекватні за рівнем складності, продуктивності і вартості програмні або програмно-апаратні засоби захисту;

• використання ресурсів відкритих мереж як окремих комунікаційних ланок корпоративної мережі; всі загрози, що виникають при використанні мереж загального користування, будуть компенсуватися засобами захисту інформації;

• забезпечення підконтрольності роботи мережі і достовірна ідентифікація всіх джерел інформації. При необхідності може бути забезпечена аутентифікація трафіку на рівні окремих користувачів;

• сегментація ІС та організація безпечної експлуатації системи, що обробляє інформацію різних рівнів конфіденційності, програмними та програмно-апаратними засобами захисту інформації.

Висновки. В роботі розглянуто та визначено переваги технологій VPN. Обґрунтовано основні переваги впровадження і використання технологій VPN в корпоративних мережах.

Список літератури

1. Браун С. Виртуальные частные сети — №3(18), 2003, 503 с.
2. Запечников С.В., Милославская Н.Г., Толстой А.И. Основы построения виртуальных частных сетей — №10, 2003, 248 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети – 2006, 958 с.
4. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – 2003, 992 с.

УДК 004.7

И.И. Пархоменко, кандидат технічних наук, доцент, В.А. Чижова
(Национальный авиационный университет, Украина)

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОТИ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ

Безопасность жизненно важна для беспроводных сетей, так как коммуникационные сигналы при их распространении через радиоэфир доступны для перехвата. Компании и индивидуальные пользователи должны осознавать потенциально существующие проблемы и принимать контрмеры. В этой статье рассмотрены основные проблемы безопасности и способы защиты беспроводных сетей.

Введение. Беспроводные сети открывают новую эру возможностей для передачи данных, недоступных в проводном мире. Быстрота развертывания, простой доступ к информации и возможность масштабирования – все это означает, что могут быть удовлетворены запросы совершенно новых групп пользователей, причем такими способами, которые были недоступны всего несколько лет назад.

Однако все эти преимущества одновременно являются и недостатками беспроводных систем доступа, так как, проблемы возникающие в безопасности беспроводных сетей обусловлены природой беспроводных сигналов.

Целью статьи есть исследование проблем безопасности беспроводных систем доступа, а также демонстрация защиты всех областей сети; минимизации риска вторжения, используя проверенные методы защиты(такие как сетевые экраны, аутентификация, шифрование). *Исследование основных проблем* Основной проблемой беспроводных сетей является то, что они не имеют практически никакой защиты. Дело в том, что беспроводная сеть использует радиосигнал с четко определенным набором характеристик, поэтому любой, желающий уделить достаточное количество времени и усилий отслеживанию этих сигналов, сможет найти способ перехватить и прочитать данные, содержащиеся в них.

Эта проблема — *простота перехвата радиочастотного трафика* – может быть решена путем остановки вещания SSID с точки доступа. Точка доступа (дальше ТД) обычно передает SSID (Service Set ID – набор основных служб), когда позволяет клиенту присоединиться к себе. Поэтому для защиты WLAN необходимо запрограммировать ТД только отвечать клиентам, которые уже знакомы со всеми деталями BSS (Basic Service Set – основной набор услуг). Это означает, что при попытке клиента соединиться с ТД она запрашивает у него информацию о ключе шифрования WEP и SSID, перед тем как предоставить ему доступ.

Эта политика безопасности работает хорошо в беспроводной среде WLAN до тех пор, пока технически грамотный, но незнакомый с проблематикой безопасности пользователь устанавливает «ложную» ТД, поскольку хочет иметь собственную ТД, связанную с WLAN. В таком случае для противодействия неавторизованного доступа, используют взаимную аутентификацию.

Еще одной из важных проблем беспроводных сетей является то, что *все пароли опубликованы, задокументированы и представляют собой значения «по умолчанию» в беспроводном пространстве*, построенном из специального оборудования. Для того чтобы предотвратить несанкционированный доступ, очень важно не оставлять изначальные значения паролей неизменными навсегда. Кроме того, в паролях не следует использовать легко угадываемые имена.

Существует еще проблема безопасности беспроводных сетей, связанная с протоколом ARP, которая состоит в том, что он представляет опасность для системы защиты из-за возможности спуфинга (о*т англ, spoofing — имитация соединения, получение доступа обманным путем*). Так, хакер может ввести в заблуждение станцию, посылая ей через подставное сетевое устройство фиктивный ARP-ответ, содержащий IP-адрес легитимного сетевого уст-

ройства и MAC-адрес подставного. Это приведет к тому, что все легитимные станции сети автоматически обновят свои ARP-таблицы, внеся в них ложные данные. В результате станции будут передавать пакеты подставному устройству, а не легитимной точке доступа или маршрутизатору. Для предотвращения атак с использованием спуфинга ARP поставщики предлагают защищенный ARP (secure ARP, SARP). Этот усовершенствованный ARP обеспечивает специальный защищенный туннель между каждым клиентом и беспроводной точкой доступа или маршрутизатором, который игнорирует все ARP-ответы, не связанные с клиентом, находящимся на другом конце этого туннеля.

Основными же методами защиты информации на механизм доступа беспроводных сетей являются шифрование и аутентификация. Также использование решений RADIUS или VPN для аутентификации и туннелирования хорошо действует в качестве дополнительной защиты.

Одним из широко используемых технологий шифрования для защиты информации есть *стандарт WEP*. Он является опциональным стандартом шифрования и аутентификации, используемый на уровне MAC; его поддерживают радиоплаты интерфейса сети и точки доступа многих производителей. WEP выполняет три функции: предотвращение неавторизованного доступа в сеть, выполняет проверку каждого пакета и защищает данные от недоброжелателей. Существует две разновидности WEP: WEP-40 и WEP-104, различающиеся только длиной ключа. В основе WEP лежит поточный шифр RC4, выбранный из-за своей высокой скорости работы и возможности использования переменной длины ключа. Для подсчета контрольных сумм используется CRC32. Все атаки на WEP основаны на недостатках шифра RC4, таких, как возможность коллизий векторов инициализации и изменения кадров. Для всех типов атак требуется проводить перехват и анализ кадров беспроводной сети. В зависимости от типа атаки, количество кадров, требуемое для взлома, различно. С помощью программ, таких как *Aircrack-ng*, взлом беспроводной сети с WEP шифрованием осуществляется очень быстро и не требует специальных навыков. Поэтому в настоящее время это технология считается устаревшей, так как не обеспечивает надлежащую защиту данных.

*Стандарт 802.11i позволяет повысить защищенность беспроводных локальных сете*й. Протокол *TKIP* — это частное решение, основанное на использовании временного 128-разрядного ключа, совместно используемого клиентами и точками доступа. TKIP комбинирует временный ключ с MAC-адресом клиентского устройства, а затем добавляет относительно длинный 16-октетный вектор инициализации для создания ключа, посредством которого будут шифроваться данные. Эта процедура гарантирует, что каждая станция будет использовать различные ключевые потоки для шифрования данных. TKIP использует RC4 для шифрования, что аналогично применению WEP. Основное отличие от WEP состоит в том, что TKIP изменяет временные ключи после передачи каждых 10 тыс. пакетов. Это дает динамический метод распределения, благодаря чему значительно повышается безопасность сети. Преимущество применения TKIP состоит в том, что компании, уже имеющие основанные на механизме WEP точки доступа и радиоплаты интерфейса сети, могут модернизировать их до уровня TKIP с помощью относительно простых, встраиваемых "заплаток". Кроме того, оснащенное только WEP оборудование сможет взаимодействовать с TKIP-устройствами, используя WEP.

*Помимо временного решения TKIP, стандарт 802.11i содержит протокол улучшенного стандарта шифрования (advanced encryption standard, AES), который обеспечивает более надежное шифровани*е. Проблема, связанная с AES, состоит в том, что для его реализации требуется большая вычислительная мощность, чем та, которой обладают большинство точек доступа, предлагаемых сегодня на рынке. Поэтому компаниям для применения AES придется модернизировать аппаратное обеспечение своих беспроводных локальных сетей, чтобы оно поддерживало производительность, необходимую для применения алгоритма AES.

Из-за недостатков со спецификацией WEP-шифрования многие производители беспроводного сетевого оборудования и разработчики программного обеспечения адаптировали стандарт 802.1x. Этот стандарт определяет структуру, которая может поддерживать неско-

лько различных форм аутентификации, включая сертификаты, смарт-карты и однократные пароли, все из которых обеспечивают большую защиту, чем управление доступом, интегрированное в 802.11.

Стандарт на защищенный доступ к Wi-Fi (Wi-Fi protected access, WPA), предложенный Альянсом Wi-Fi, обеспечивает модернизацию WEP за счет одновременного использования метода шифрования с динамическим ключом и взаимной аутентификации. Клиенты WPA используют различные ключи шифрования, которые периодически меняются. Из-за этого взломать алгоритм шифрования намного сложнее. По сути, WPA 1.0 представляет собой текущую версию стандарта 802.11i, который включает механизмы TKIP и 802.1x. За счет комбинации этих двух механизмов обеспечивается шифрование с динамичным ключом и взаимная аутентификация, т.е. то, что необходимо для беспроводных локальных сетей. WPA 2.0 полностью совместим со стандартом 802.11.

Фильтрация MAC – это один из самых простых путей для минимизации угрозы целого ряда атак. В случае применения MAC-фильтрации точка доступа проверяет MAC-адрес источника каждого получаемого ею фрейма и отказывается принимать фреймы с MAC-адресом, не соответствующим ни одному из особого списка, программируемого администратором. Следовательно, MAC-фильтрация обеспечивает простейшую форму аутентификации. Главным недостатком использования фильтрации MAC-адресов заключается в необходимости административного контроля. Процесс фильтрации MAC-адресов должен постоянно записываться и контролироваться для максимальной эффективности. Еще одним недостатком есть то ,что если кто-то прослушивает трафик, он может определить MAC-адреса по их фиксированному месту в передаваемых пакетах информации. Мониторируя процесс работы сети, хакер может попытаться получить доступ в нее, используя те MAC-адреса, которые давно не используются.

Для защиты компьютера в сети от неавторизованного доступа целесообразно использовать также брандмауэр. Брандмауэр является прокси-сервером, фильтрующим данные, проходящие через него в сеть или из нее, в зависимости от набора правил, установленных сетевым администратором.

Выводы. Все средства обеспечения защиты в беспроводных сетях, рассмотренные выше, должны использоваться в комплексе, это позволит максимально защитить сеть от несанкционированного доступа. Но и нельзя забывать, что каждый день становятся известны новые слабые места в протоколах и программах, поэтому нельзя считать свою сеть полностью защищенной.

Список литературы

1. Wi –Fi . Беспроводная сеть. Джон Росс. Издание НТ Пресс, Москва 2007 год, 322 с.
2. Беспроводные сети. Первый шаг. Джим Гейер. Издание «Вильяме», Москва 2005 год,189с.
3. Защита от хакеров беспроводных сетей. Кристиан Барнс, Тони Боутс, Дональд Лойд, Эрик Уле, Джеффри Посланс, Дэвид М. Зенджан, Нил О’Фаррел. Издание ДМК-Пресс,Москва 2005 год, 476с.
4. WEP. http://ru.wikipedia.org

UDC 004.056.53

R.A.Umerov (National Aviation University, Ukraine),
F. Galindo, Ph.D. (Universidad de Zaragoza, Spain),
A.A.Tikhomirov, Sc.D. (IIA, Russia),
A.I. Trufanov, Ph.D. (Irkutsk State Technical University, Russia),
A. Rossodivita, M.D. (University of Medicine "Life and Health", Italy)

ADVANCED SCIENTIFIC AND PRACTICAL APPROACHES TO INFORMATION SECURITY

Reviewed developments in the field of information security, implementation of which the most successful acts standard ISO / IEC 27001, which helps to demonstrate the ability of an organization's ability to protect its information resources. Methods for modeling of socio-legal processes - Exponential and scale-free architecture

Currently, the territories of the former Soviet Union (and some other developing countries) can be quite clearly highlight some of the vectors of developments in the field of information security:

- total computerization of society, creating an urgent need for information security systems and information protection . Moreover, the development of computerization greatly predominates over the development of the IS

-the transition from the chaotic and kustarschiny in the creation of integrated systems for information security standardization, systematization and efficient government regulation

-financial obstacles that prevent the majority of public and private organizations and enterprises to adopt and implement the best international expertise on a a number of reasons - lack of finance for implementation of systems information security, lack of appropriate staff (in some way, too, because of lack of funds for the development of a special higher education and the high cost of obtaining a qualified education abroad, the leakage of professionals in connection with the best conditions of work and life)

- regulatory disorder, maladjusted legislation IS, inhibitory, and often to a standstill Exciting development of information security.

In general, the scope of information security is a wide variety of complex heterogeneous problems and limits of this sphere is constantly changing their position and shape

in virtue of their specific characteristics these challenges evolution in the field of information security are in a completely different planes, except for one that unites them time plane. And therefore, it is necessary to consider such issues at atime.

For the effective implementation of such an inhomogeneous complex tasks with one of the most successful solutions supports the ISO / IEC 27001, which establishes requirements for information security management system to demonstrate the organization's ability to protect its information resources. However, in the standard ISO / IEC 27001 little attention paid to the optimization of the above components, or rather, how to overcome the difficulties encountered in implementing complex systems of information security.

Information Security Management System based on the standard ISO / IEC 27001 allows you to:

Achieve reduction and value engineering support to security make information understandable to the assets of the organization's management. Identify the main security threats to existing processes, calculate risks and make decisions based on the organization's goals, to ensure the effective management of the system in critical situations.

Thus, the standard ISO / IEC 27001 provides insight into the readiness of certain procedures, but gives no clear idea on the most procedures for implementation, especially in the coordination and regulation of passage.

In the field of information dissemination objective laws redundancy. Positive data redundancy is designed to optimize the whole process of communication. For example, positive redundancy is used actively in the learning process, when repeated recurrence of typical situations lead to better assimilation of their audiences.

Positive redundancy is often used as a legislator reception improve the perception of regulation. Thus, many provisions of the Constitution of Ukraine are a repetition of the laws and legal entities in the State.

Negative redundancy violates the normal flow of information process. It represents a kind of "noise" or "interference." This, for example, declarative rules and regulations that are not equipped with mechanisms for implementation. Without performing the functions of regulation and self regulation, such laws have a negative overkill. Means of overcoming the negative redundancy is a high level of training regulations. Negative redundancy can make a deadlock introduction of the IB, especially in cases of conflict of laws and regulations, regulatory inconsistencies in the various departments that perform common tasks.

Another objective law, acting for the dissemination of information, the law of misrepresentation on the extent of its movement. This law is associated with different ability and willingness of subjects to its perception. That is why in those cases where important accuracy and completeness of information, raises the question of fixing information in a tangible medium, and subject to certain requirements for the procedure and method of fixation.

For example, to ensure that the information had probative value in court proceedings, it must be documented in compliance with a strict set of procedural requirements.

Standard 27000 limited scope of the enterprise (organization), for all its sequenced unfortunately did not reflect some new stages in the development of the subject area, such as the use of modern socio-legal models, especially those based on the theory of complex networks.

For explore a variety of socio-legal phenomena and processes of a long and successful method of socio-legal model [1].

The simulation method of socio-legal process - a method of cognition, in which process uses a helper object - a model. The most common types are graphical, verbal or mathematical model.

Consider, for example, the model number of conflicts in the regional network of the Autonomous Republic of Crimea (and nearby regions), recorded at the site cert.crimea.ua:

The verbal model:

1. Suppose that on the territory under consideration at time t_0 registered x_0 conflicts.
2. Let the number of conflicts detected increases over time the value of kx.
3. The adoption of measures of CERT-CRIMEA reduce the number of conflicts with the square of the total number of conflicts mx_2.

Then the mathematical model, which can be used to determine the number of conflicts at any time will have the form:

$$x(t) = kx_0 e^{kt}/(k-mx_0(1-e^{kt})) \quad (1)$$

4. Graphic model is presented in Fig. 1.

Stability of network architecture is one of the major problems of building effective complex systems, including and information. The models of Erdos-Renyi [2] Barabash-Albert [3] are now the most popular ones that describe real networks. The former has probability distribution of the links k that corresponds to the Poisson law:

$$P(k) \sim e^{-\lambda} (\lambda^k)/ k! \quad (2)$$

where λ - the distribution parameter.

These network models also are called random or exponential (E-net).Most of the 20 th century the exponential network is the base for the analysis of systems. With this kind of models connected with the development of graph theory. In [3], the authors drew the attention of researchers, that

many real networks (communications, Web, social, and metabolic) are different from that described by the exponential model in nature and have proposed a network model, in which:

i. Distribution of connectivity (number of bonds) corresponds to a power law

$$P(k) \sim k^{-\gamma}, \qquad (3)$$

where γ, the exponent while for the real world $1 \leq \gamma \leq 3$.

ii. Characteristic is the growth of a network with the introduction of new nodes and new connections, and there is a so-called "preferred connection"

iii. to use the terminology simple and understandable for experts from different disciplines.

This network model is called the scale-free (SF) one :such models with nontrivial topological properties best suited to the term "complex".

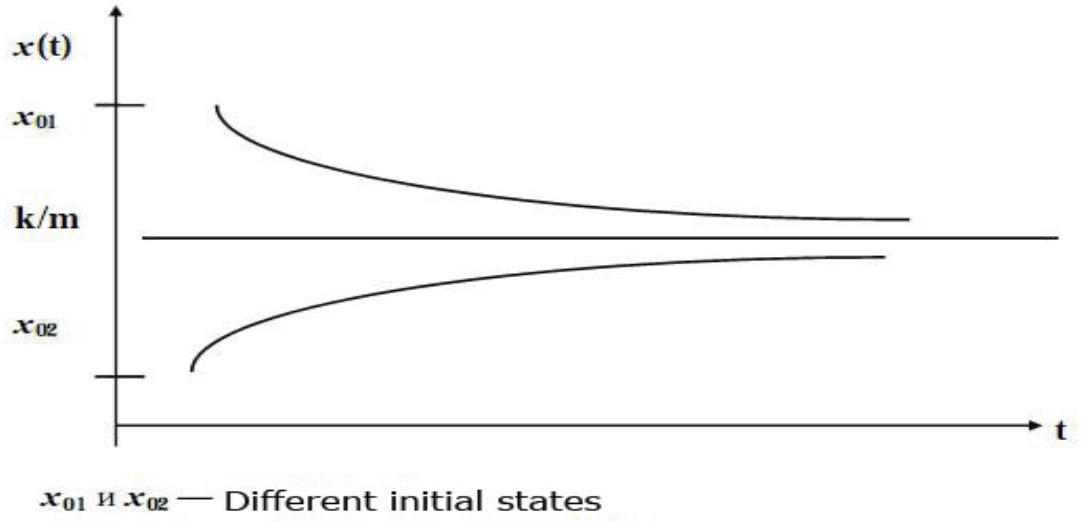


Fig. 1. Graphic model of the dynamics of conflicts detected in time.

Fig. 2 demonstrated the topology of exponential and scale-free networks [3].

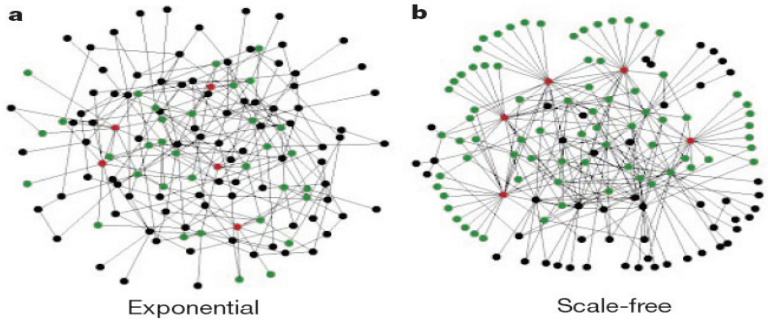


Fig. 2. Exponential (a) and scale-free (b) network [3]

The stability of these two different: exponential and scale-free architectures was substantially different to the two main classes of attacks on network nodes: random and intended ones.

Random attacks (denial, disruption, R-attacks) have a random selection to destroy a node. The classic strategy of targeted or intended attacks (I-attacks) is the subsequent destruction of the nodes with maximum connectivity. Usually, the consequences of attacks studied networks are analyzed using a broad set of metrics: record the change in the diameter, the average connectivity, separating the middle, the clustering coefficient of various central, the maximum size of the cluster and its relative values. It was found [3] (Fig. 3) that the exponential network is equally vulnerable to the R- and I-attacks

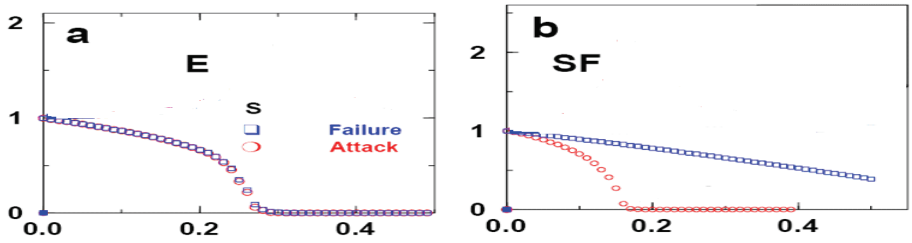


Fig. 2. The dependence of the relative size of maximal cluster in the exponential (a) and scale- free (b) networks exposed to random (□) and intentional (○) attacks.

Complex (scale-free) networks were resistant to R-attacks ,and are extremely vulnerable to attacks focused.

Indeed, targeted attacks on SF- network more efficient, but they are considerably expensive.

In practice, there are far more complex situation than a separate R-attack or I-attack: it is often possible combinations of failures and targeted attacks [4].

References

1. Chubukova S.G, Elkin V.D. Foundations of Legal Informatics. - Moscow, 2007. – 84p.

2. P. Erdos, A. Renyi, Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci. 5, 1960, p.17-25.

3. A.-L. Barabási, R. Albert, H. Jeong. Mean-field theory for scale-free random networks. Physica A 272, 1999, p. 173-187.

4. F. Galindo, A. Caruso, A. Rossodivita, A.A. Tikhomirov, A.I. Trufanov, E.V. Shubnikov. Restructuring of the topology of complex networks as a strategy to protect against blended threats. Energy conservation and energy efficiency: challenges and solutions. MM: Inforizdat, July, 2010, pp. 102-106.

UDC 004.056.53

R.A. Umerov, postgraduate student (National Aviation University, Ukraine),
F. Galindo, Ph.D. (Universidad de Zaragoza, Spain),
A.A. Tikhomirov, Sc.D. (IIA, Russia),
A.I. Trufanov, Ph.D. (Irkutsk State Technical University, Russia),
A. Rossodivita, M.D. (University of Medicine "Life and Health", Italy),
R.N. Memetov (CEPU, Ukraine)

VISUALIZATION'S INSTRUMENTS IN INFORMATION SECURITY TASKS

Mapping and visualization is still not used to meet the challenges of information security - science and practice. In practice, solving problems for constructing complex information security systems are more effective and attractive. Considered prmery solutions using Visualization Toolkit (VTK), Google Public Data Explorer, Logstalgia

One example of solving problems in visualization - MayaVi [1], data visualization tool for Linux to associate with the language Python. For graphics output, it uses a powerful visualization tool Visualization Toolkit (VTK, Fig. 1). The package MayaVi also includes a graphical user interface, developed through a module Tkinter. Tkinter - an interface Tk, most often used in conjunction with Tcl.

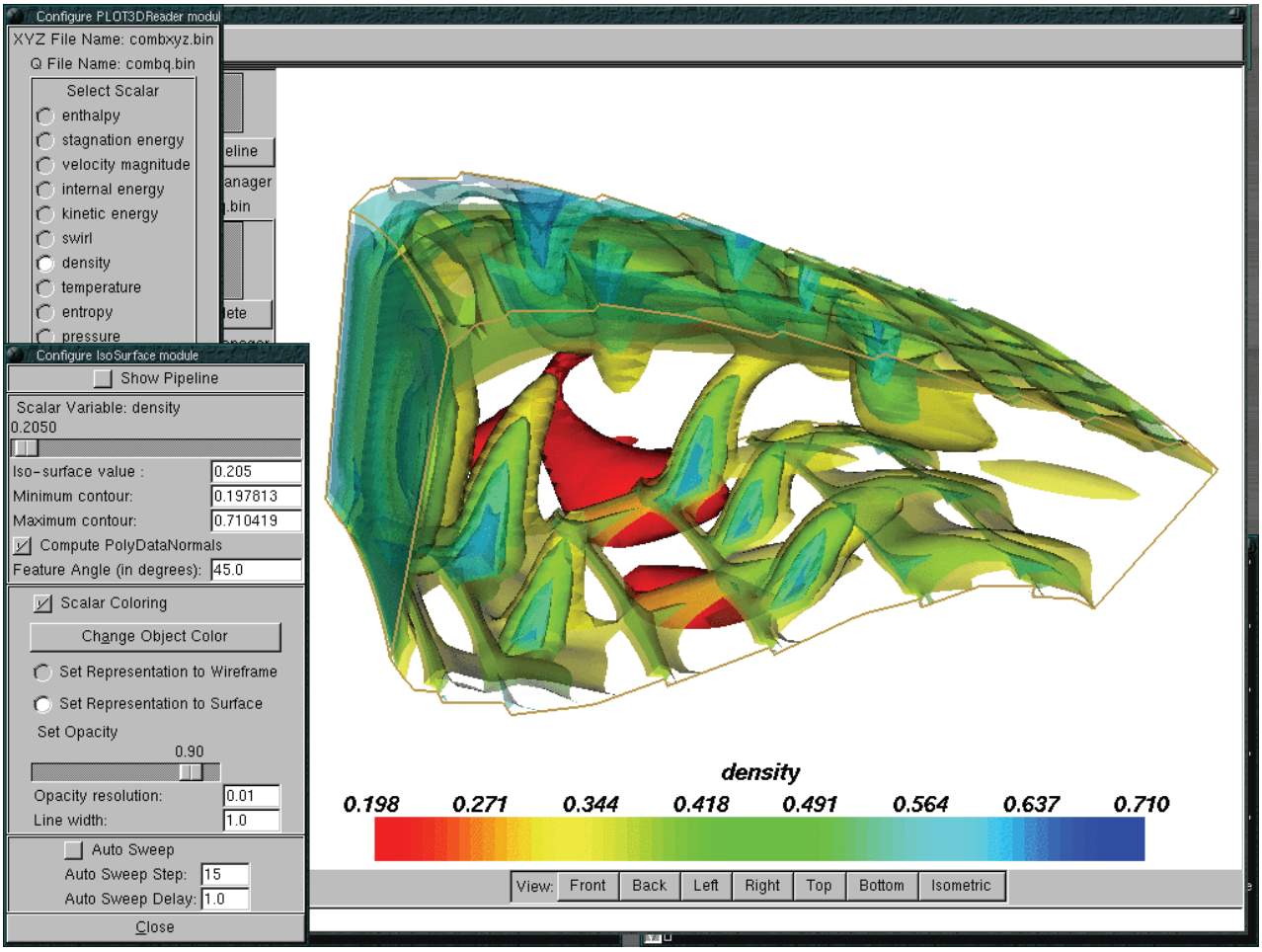


Fig. 1. Visualization Toolkit (VTK).

MayaVi Originally developed as a visualization tool for CFD (Computational Fluid Dynamics, CFD). After it became clear benefits from its use in other areas, it has been redeveloped as a general scientific data visualization tool.

MayaVi package relies on the power of VTK. VTK - a system for data visualization and image processing with open source, which is widely used in the scientific community. VTK offers tremendous opportunities, having, in addition to libraries of C++, interfaces for scripting languages, Tcl / Tk, Java programming language and Python. VTK ported to many operating systems including UNIX, Windows and MAC OS X.

Shell MayaVi to VTK can be imported as a Python module into other Python programs and can be used in scripts that run in the interpreter Python. Graphical user interface tkinter, supplied with MayaVi, allows you to configure and apply filters and manage the lighting effects when rendering.

Search for reliable data and reliable statistical information in various fields is very important. According to Google [2], the most popular requests are: a comparison of educational institutions, unemployment statistics, data on population, size, sales taxes, wages, exchange rates, crime statistics, statistics of oil prices, etc.

Such statistics certainly useful, but only if they are easy to find and easy to work with them. Google has released a new experimental product, Google Public Data Explorer, which allows you to visualize the found statistical information, thereby simplifying the task of understanding the data. Data Explorer can build dynamic charts (with elements of histograms, graphs, bubbles), to track changes over time, zoom, select individual data, etc. Of course, the possibility of sharing such diagrams and instruments posting them on blogs or on Web sites.

In the animated charts are based on technology Trendalyzer (acquired from Gapminder Foundation), which were previously implemented in the Visualization API and the functions of Motion Chart in Google Spreadsheets.

In practice, the visualization allows us to trace changes in the state services or ongoing attack, writing in different colors and geometric shapes and dynamics of state services attacks (processes). Abstract black box «organizer's box» [3], multiple servers, as described in RuCTFE 2010, OpenVPN, PostgreSQL, Failover, Checksystem and Backup server.

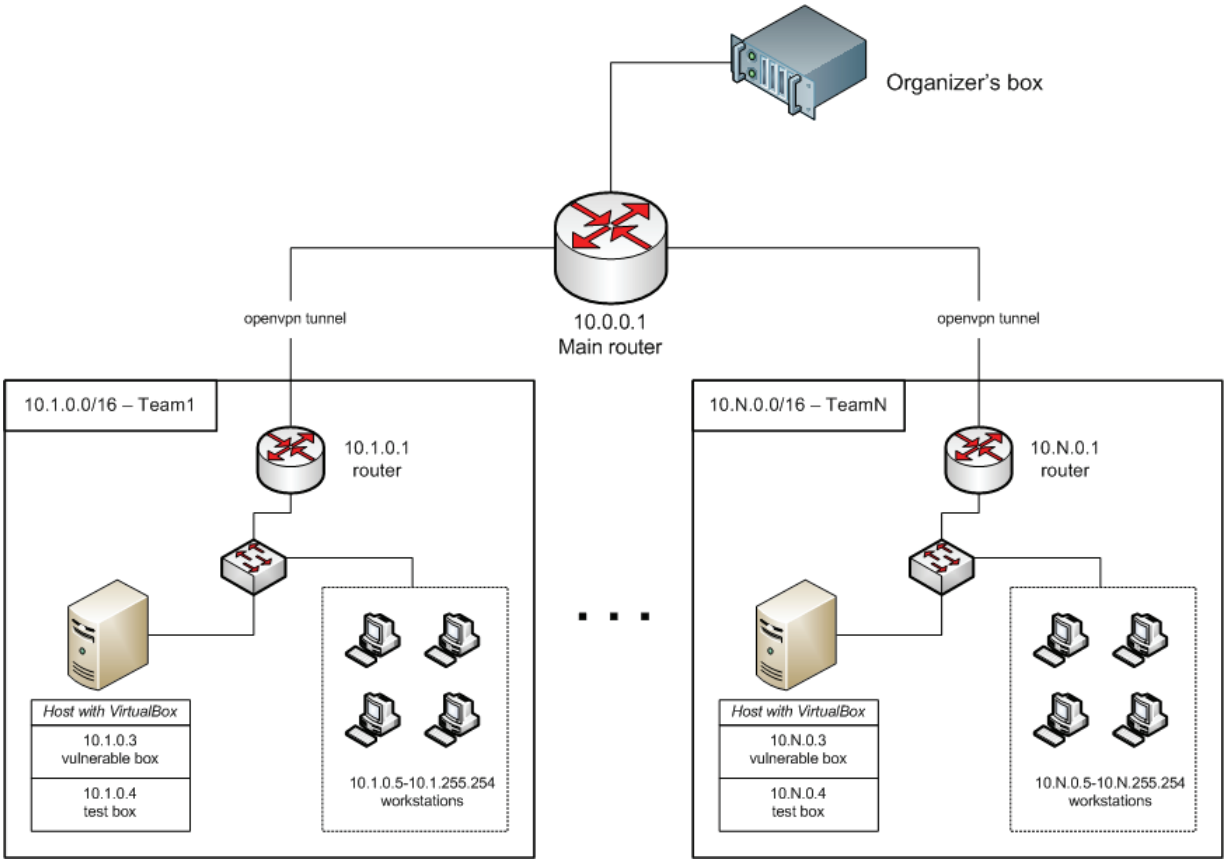


Fig. 2. Schematic diagram of the data collection «organizer's box».

Thus, visualization is more confidently takes its place in the line of tools for building information security. However, the existing standards of FIPS 199, 200 [4] pay little attention to the categorization of mapping and visualization tools, and even fewer -mechanisms,including legal, the use of such tools in an integrated approach.

In some cases, possible replacement of algebra to geometry, when constructing sets of matrices are replaced by a set of values arising from:

- the intersection of planes (the equations of the lines)

- the intersection of curved planes, the result of which may act set of values that lie on an infinite curve, on an endless intersecting curve on the infinite 3D-curve that can describe the relevant functions of the curve

- the intersection of curved planes, which result may be a set of values that lie on a curved circle (make the curve), with a curvilinear circle can give the group sets, obeying a unified description of the original curved planes such as: a set of values very curved circumference of the range of distances to the radius of a curved circumference of the set of values floating curved center of the circle with a radius of a constant.

Visualized help set the perception of the functions at a different angle which can provide visual perception and comprehension tasks in building security systems.

Building Systems IB using mapping and visualization much cheaper "algebraic" analogue, has a more "elegant" architecture. Set of values, comfortably playable using technology mapping and visualization is also possible to extract from the two-and three-dimensional images: the first case, the coordinates of points on the image, randomly arranged in a set. Inability to describe algebraically the set - is applicable to add value or vector color spectrum. In the second case, the problem is complicated by the third dimension. In principle, if necessary, the fourth dimension, variable, kaleidoscopic image should change according to the equation of time curve.

As an example - Logstalgia - a visualization program website traffic, based on the query log Web-server Apache. The program displays the work of the Web server as the game of tennis balls - an endless stream of requests of visitors.

On the screen appear as colored balls (the same color as the concrete visitor) that fly across the screen to arrive on the request. Successful requests discourage racket web server, and the poor (such as 404 - File not found), the server skips.

Visualization at any time can be stopped. During the pause, the individual requests can hover your mouse over and see the details.

Mapping and visualization are still a bottleneck in information security - science and practice.

The principle of comprehensiveness to ensure information security involves the use of all possible measures to counter the threats: ethical, legal, organizational, technical and mathematical. When implementation of this complex is an important and necessary coordinated the interaction of specialists in different subject areas. Among effective tools to enforce consistency, understanding and becomes visible in the perspective of mapping and viualizatsiya at all stages of the Information security [5].

References

1. DeveloperWorks. Data visualization tools for Linux. http://www.ibm.com / developerworks / ru / library / l-datavistools / index.html? S_TACT = 105AGX99 & S_CMP = GR01

2. KO. IT for business - http://ko.com.ua/node/48432

3. Information security. RuCTFE 2010 - http://habrahabr.ru/blogs/infosecurity/110576/

4. Logstalgia - a visualization tool of the Apache - http://www.tumencev.pp.ua/ programming / apache / logstalgia-project.html

5. Chubukov, SG, Elkin V., Fundamentals of Legal Informatics. - Moscow, 2007. - 84s.

УДК 004.56

О.К. Юдін, доктор технічних наук, професор,
К.О. Курінь, асистент
(Національний авіаційний університет, Україна)

РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ ВІДНОВЛЕННЯ ВІДЕОДАНИХ

Розроблено математичну та структурну моделі процедури декодування зображень, стиснених з урахуванням методу двоознакового структурного кодування двійкових послідовностей. Визначено основні етапи процесу відновлення. Проведено оцінку розбіжності відновлених та вихідних зображень на підставі розрахунку пікового значення відношення сигнал/шум.

Суттєвим недоліком графічних файлів є їхній значний об’єм. Якщо знехтувати заголовками файлу та іншими неграфічними даними, то його розмір є пропорційним кількості пікселів в зображенні та кількості бітів, потрібних для представлення кожного піксела. Повнокольорова картинка розміром 1024x768 пікселів займає більше двох мегабайт пам'яті, а одна секунда відеофільму телевізійної якості в растровому вигляді – близько тридцяти мегабайт. Таким чином графічними файлами дискову пам'ять можна заповнити миттєво. Виходом з даної ситуації є використання методу, що називається стисненням зображень.

Стиснення даних є одним з найбільш актуальних напрямків сучасної теорії інформації, й цілком справедливо можна говорити про методи компресії як про один з найважливіших засобів забезпечення оптимального та ефективного функціонування інформаційно-комунікаційних систем.

Таким чином одним з найважливіших завдань сучасної теорії інформації є розробка та реалізація нових методів стиснення, що забезпечують максимальний ступінь компресії з одночасною мінімізацією рівня спотворень даних у відновленій інформаційній структурі.

Розглянемо принцип стиснення зображень, побудованого на базі методу двоознакового структурного кодування (ДСК) [1]. Структурно-логічна модель кодера ДСК включає наступні етапи:

1. Кольорове зображення переводиться в формат представлення для моделі RGB. Пікселі кожної компоненти формують в блоки 8×8, що називаються сегментами зображення. Якщо число рядків або стовпців вихідного зображення не кратно 8, то верхній рядок і правий крайній стовпець повторюють потрібну кількість разів.

2. До кожного сегменту зображення застосовують дискретне косинусне перетворення (ДКП). В результаті трансформації матриці зображення на базі ДКП отримують блоки 8×8 частот одиниць даних.

3. Кожен з 64 елементів частот одиниць даних ділять на число – коефіцієнт квантування – округляють до цілої частини. На даному етапі відбувається необоротна втрата інформації.

Оскільки на даному етапі квантовані сегменти містять від’ємні значення, доцільно сформувати матриці знаків за правилом:

$$s_{k,\ell} = \begin{cases} 0, \to c_{k,\ell} \geq 0; \\ 1, \to c_{k,\ell} < 0. \end{cases}$$

Тут $s_{k,\ell}$ - $(k;\ell)$-й елемент матриці знаків, що надає інформацію про знак компоненти $c_{k,\ell}$. $k = \overline{1,q_\ell}$; $\ell = \overline{1,q_c}$, де q_ℓ; q_c - кількість рядків та стовпців растру зображення, відповідно.

5. На цьому етапі застосовують базовий метод стиснення даних – кодування методом ДСК [2,3]. Завданням даного етапу є формування кода-номера методом ДСК для двійкових послідовностей, які складають структуру зображення, згідно виявлених структурних надмірностей з урахуванням структурних ознак сегменту зображення. У результаті здійснення даного кроку кодером формуэться масив значень кодів-номерів для зображення. Крім того формуються таблиці параметрів структурних ознак ДСК, що містять значення векторів обме-

жень на позиції з допустимою появою одиниць і числа серій одиниць в кожній з допустимих зон, які необхідні декодеру для подальшого однозначного декодування даних.

6. На наступному етапі застосовують кодування послідовностей кодів-номерів методом RLE з метою збільшення ступеня стиснення початкового зображення. Принцип кодування методом RLE полягає в такому: ненульові елементи надходять без змін, а послідовності нулів – кодуються стандартно двома числами, перше з яких – 0 – прапор (позначає початок послідовності нулів), другий – значення довжини даної послідовності.

Також на даному етапі за таким же принципом проводять кодування таблиці, що містить значення числа серій одиниць в кожній з допустимих зон двійкових послідовностей, для яких сформовано код-номер та матриці знаків. Сруктурна схема кодера наведена на рис. 1.

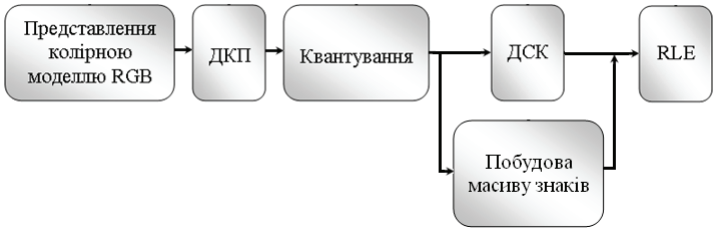


Рис. 1. Блок-структурна схема реалізації процедури стиснення на основі методу ДСК

Сформований спосіб стиснення зображень дозволяє підвищити значення коефіцієнту стиснення k_{cm} в порівняні з відомими методами в 1,3-4,2 рази для широких класів джерел повідомлень.

Мета та завдання роботи: створення математичної та структурно-логічної моделі декодера даних, стиснених з урахуванням методу ДСК. При цьому до задач дослідження відноситься:

- визначення основних етапів процедури відновлення інформації декодером при формуванні декодованого потоку даних;
- оцінка розбіжності відновлених та вихідних зображень.

Розглянемо ітерації процедури відновлення.

Перша ітерація. Згідно процедури кодування, описаної в [1], на вхід декодера подаються дані: значення кодів-номерів ДСК, значення числа серій одиниць в кожній з допустимих зон двійкових послідовностей (ДП), для яких сформовано код-номер, матриці знаків – всі закодовані згідно методу RLE. Тому на першому етапі процедури відновлення відбувається декодування RLE (Рис. 2).

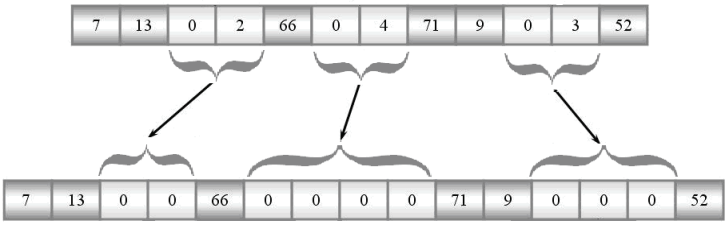


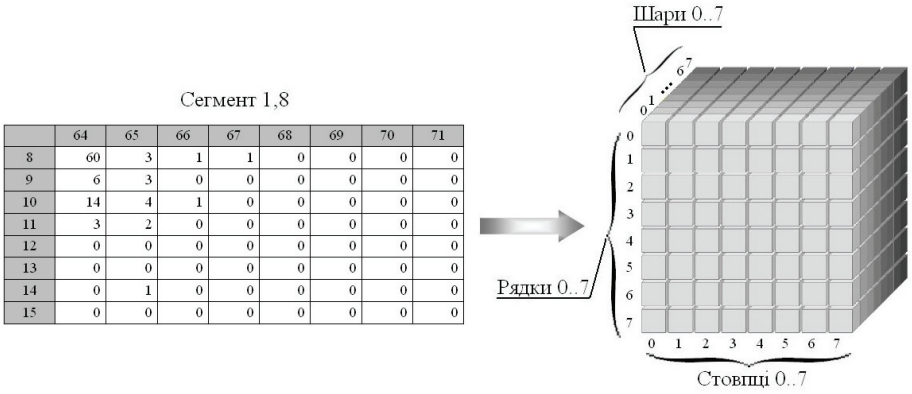
Рис. 2. Графічна модель алгоритму декодування RLE

Принцип декодування RLE полягає в наступному: якщо декодер отримує нуль (прапор), то це означає, що має бути відновлена послідовність нульових елементів, довжина відновлюваної послідовності визначається числом, що слідує за прапором, далі декодер переходить до елемента, що слідує за значенням довжини послідовності нулів. Якщо на вхід декодера подається ненульовий елемент, то він записується у відновлену послідовність без змін і відбувається перехід до наступного елемента. Оскільки кодування RLE застосовувалося порядково для кожного сегмента матриці з кодами-номерами, то при послідовному відновленні 64 елементів буде сформовано сегмент 8×8 матриці кодів-номерів.

Друга ітерація. На даному етапі застосовується базовий метод декодування – ДСдК. Завданням даного етапу є відновлення певної ДП у структурі зображення згідно кода-номера та відповідних структурних ознак. Уточнимо, які саме складові структури зображення будуть відновлені.

При кодуванні ДСК квантоване зображення розбивається на одиниці даних у вигляді сегментів розмірністю 8×8. Кожне з числових значень представляється у вигляді 8-бітового двійкового числа (тобто кожним сегментом є паралелепіпед довжина якого складає 8 біт, а ширина й висота дорівнюють розмірності сегменту 8×8). Кожен сегмент складається з восьми шарів. До складу кожного шару входить по 8 стовпців розмірністю в 8 біт. На рис. 3 зображено принцип просторової структуризації сегменту.

При кодуванні ДСК код-номер формувався для кожного стовпця кожного шару сегментів зображення. Отже на цьому етапі декодування з кожного кода-номера буде відновлений один з восьми стовпців кожного з восьми шарів сегменту зображення. 64 коди-номери, що складають блок 8×8 у матриці кодів-номерів, визначатимуть відповідний сегмент квантованого зображення.



	64	65	66	67	68	69	70	71
8	60	3	1	1	0	0	0	0
9	6	3	0	0	0	0	0	0
10	14	4	1	0	0	0	0	0
11	3	2	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 3. Графічна модель структуризації зображень з урахуванням методу ДСК

Третя ітерація. На даному етапі відновлюються від'ємні значення компонент квантованих сегментів. Відновлення відбувається згідно вмісту матриць знаків за правилом:

$$c_{k,\ell} = \begin{cases} c'_{k,\ell}, \to s_{k,\ell} = 0; \\ -c'_{k,\ell}, \to s_{k,\ell} = 1. \end{cases}$$

Тут $s_{k,\ell}$ - $(k;\ell)$-й матриці знаків, що надає інформацію про знак компоненти $c_{k,\ell}$, $c'_{k,\ell}$ - значення компоненти до відновлення інформації про її знак.

$k = \overline{1, q_\ell}$; $\ell = \overline{1, q_c}$, де q_ℓ; q_c - кількість рядків та стовбців растру зображення, відповідно.

Кожен з 64 елементів у сегментах квантованого зображення множиться на число – коефіцієнт квантування і округляється до цілої частини.

Четверта ітерація. Далі до кожного трансформованого сегменту зображення застосуємо обернене ДКП [4]. Оскільки пікселі корельовано по двом напрямкам, при відновлені використовується двовимірне обернене ДКП, що задається формулою:

$$p_{xy} = \frac{1}{4} C_i C_j G_{ij} \sum_{x=0}^{7} \sum_{y=0}^{7} \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{16}\right),$$

де $C_f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, f = 0; \\ 1, f > 0. \end{cases}$

Тут p_{xy} - числові значення пікселів зображення, що містяться в сегментах розмірністю $n \times n$, $G_{i,j}$ – числові значення осередків трансформант розмірністю $n \times n$ (в даному випадку n=8). Значення i та j змінюються в межах від 0 до n-1.

Під час процедури стиснення на етапі квантування та ДКП відбувається необоротна втрата інформації, тому при відновленні сегментів вихідного зображення останні зазнають деяких спотворень.

П'ята ітерація. На останньому етапі процедури відновлення відкидаються продубльовані верхній рядок та крайній правий стовпець. Блок-структурна модель, що описує основні

етапи визначеного процесу відновлення даних, стиснених з урахуванням методу структурного двоознакового кодування двійкових послідовностей, представлена на рис. 4.

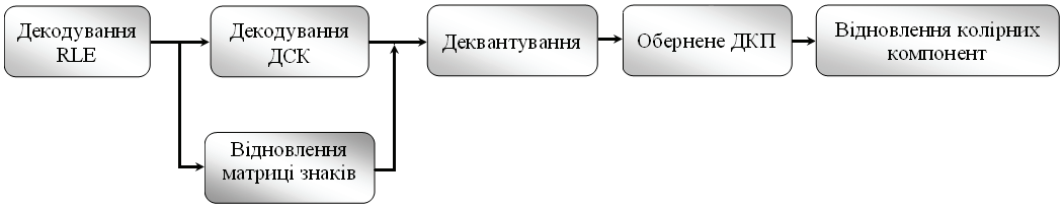


Рис. 4. Блок-структурна схема реалізації процедури відновлення даних, стиснених з урахуванням методу ДСК

Для оцінки якості відновлених зображень використовується значення пікового відношення сигнал/шум δ:

$$\delta = 20\,\ell g\,(\,2^q\,\sqrt{Q_\ell\,Q_c}\,/\sqrt{\sum_{i=1}^{Q_\ell}\sum_{j=1}^{Q_c}(x_{ij}-x'_{ij})^2}\,),$$

де q - кількість двійкових розрядів, що відводиться на представлення одного елементу вихідного зображення, Q_ℓ, Q_c - відповідно кількість рядків і стовпців в зображенні, x_{ij}, x'_{ij} - значення $(i;j)$-го елемента відповідно для вихідного та відновленого зображень.

Згідно розрахунків, проведених після реалізації процедури кодування-декодування у програмному середовищі, були отримані значення пікового відношення сигнал/шум для різних класів тестових зображень: 53 дБ для дискретнотонових (штучних) зображень, 60 дБ для неперервнотонових (природних) зображень. Разом з тим під час дослідження процедури стиснення зображень з урахуванням методу ДСК було розраховано коефіцієнт стиснення k для відповідних тестових зображень [1]: 4,79 для для штучних зображень, 5,62 для природних зображень. На підставі отриманих даних можна зробитит висновок, що досягається виграш в стисненні:

- в 2,76 разів у порівнянні з методами JPEG-LS та JPEG, та в 2,2 рази в порівнянні з методом JPEG-2000 для природних зображень;
- в 2,35 рази в порівнянні з методами JPEG-LS та JPEG-2000, та в 2,6 разів у порівнянні з методом JPEG-2000 для штучних зображень.

Висновки

Розроблено математичну та структурну моделі процедури декодування зображень, стиснених за допомогою методу, що враховує двоознакове структурне кодування двійкових послідовностей у структурі зображення. Визначено основні етапи процедури обробки інформації декодером. Проведено оцінку розходження відновлених та вихідних зображень. В якості метрики для оцінки похибки використано пікове значення відношення сигнал/шум. Для розробленого методу значення цієї величини склало близько 60 Дб для широкого класу зображень. Вдалося досягти збільшення ступеня стиснення у порівнянні з існуючими методами в середньому в 2,5 рази для штучних та природних зображень.

Список літератури

1. Юдін О.К. Структурно-логічна модель кодера стиску інформаційного потоку даних / Юдін О.К., Чеботаренко Ю.Б., Курінь К.О. // Вісник Інженерної академії України. – К.: НАУ, 2010. – 4 вид. – с. 151-157.

2. Юдін О.К. Кодування в інформаційно-комунікаційних мережах: – Монографія. - К.: НАУ, 2007.-308с.

3. Yudin O.K. The parallel bi-indication encoding end renewal of data in binary polyadic space// Вісник НАУ. – 2006. – №4.– С. 3-7

4. Д. Селомон. Стиснення даних, зображень і звуку. – М.:Техносфера, 2006. – 386 с.

УДК 004.056.2(045)

В.С. Василенко, кандидат технічних наук, доцент,
О.В. Дубчак, старший викладач
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОЦІНКА АБСОЛЮТНОЇ ШВИДКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Проведено дослідження впливу способів організації обміну, стану та характеристик каналів на швидкість обміну інформацією в мережах телекомунікаційних систем. Запропоновано підходи щодо аналізу ефективності протоколів обміну інформацією в телекомунікаційних системах за швидкістю та вірністю передачі, наведено вирази для їх розрахунків

Вступ. Обмін інформаційними об’єктами у комунікаційних мережах забезпечується протоколами, кожний з яких характеризується певними показниками швидкості та вірності передачі. Відомо, що існуюча множина протоколів розподіляється на два типи: із забезпеченням високошвидкісного обміну; із забезпеченням певного рівня цілісності та доступності переданих даних [1]. Протоколи першого типу або взагалі не здійснюють контроль якості передачі, або в разі виявлення викривлень інформаційного об’єкту вилучають його, наприклад, протоколи типу Frame Relay, IP тощо. При цьому задача забезпечення цілісності чи достовірності інформаційних об’єктів покладається на протоколи більш високого рівня.

Більшість протоколів другого типу забезпечують виявлення та корекцію можливих викривлень, використовуючи коди, з наступним перезапитом викривленої інформації. Це – протоколи із вирішувальним зворотним зв’язком, прикладом яких є протоколи транспортного рівня TCP. Також, на основі теорії завадостійкого кодування, можлива розробка і використання протоколів, що забезпечують корекцію ймовірних викривлень за рахунок використання корегуючих кодів.

Мета статті. Авторами статті здійснено спробу визначити час доставки та час затримки в доставці інформаційних об’єктів і порівняти за цими показниками різновиди протоколів із застосуванням вирішуючого зворотного зв’язку (ВЗЗ) та протоколи із виявленням та корекцією викривлень – із застосуванням завадостійких корегуючих кодів (ЗКК).

Умови досліджень. Ряд важливих для практичного застосування рекомендацій отримано на основі аналізу впливу стану каналів на характеристики процедур обміну інформацією в телекомунікаційних мережах [1, 2]. Як визначальну характеристику стану каналів використано інтенсивність завад λ, яка добре описує стан каналу, але її практичне визначення має певні утруднення.

Автори даної статті пропонують здійснити порівняння процедур обміну з виявленням та корекцією викривлень (із ЗКК) та із застосуванням вирішуючого зворотного зв’язку (із ВЗЗ), базуючись на більш поширеній характеристиці стану каналів для передачі цифрової інформації − ймовірності викривлення символу $P_{викр}$. Її визначення є технічно більш простою задачею, оскільки, як відомо [2], ця ймовірність в точці приймання є функцією співвідношення сигнал/завада та застосованого в каналі методу модуляції сигналу – амплітудної, фазової чи частотної. Відомі співвідношення [2] дають оцінки кількості викривлень $n_в$, що припадають на один інформаційний об’єкт, наприклад на один пакет, із загальною кількістю символів n, і дозволяють перейти від характеристики стану каналу у вигляді інтенсивності завад λ до характеристики стану каналу у вигляді ймовірності викривлення символу $P_{викр}$:

$$n_в = n \cdot P_{викр},$$

З урахуванням того, що час, необхідний для передачі одного пакету, $t_п = n / B$, кількість викривлень $n_в$, які припадають на цей часовий інтервал, визначиться з виразу:

$$n_в = \lambda \cdot t_п = \lambda \cdot n / B,$$

де: n – загальна кількість символів базового кодового слова, B – технічна швидкість передачі інформації (символів/с).

Оскільки ліві частини цих рівнянь визначені однією і тією ж змінною, то вірним є співвідношення:

$$n \cdot P_{викр} = \lambda \cdot n / B .$$

Отже, оцінка інтенсивності завад для каналу із визначеними технічною швидкістю передачі інформації B та співвідношенням сигнал/завада матиме вигляд:

$$\lambda = B \cdot P_{викр} .$$

Зрозуміло, що отримання цілісної та достовірної інформації вимагає витрати часу для контролю, а в разі виявлення наявності викривлень, і для поновлення порушеної цілісності інформаційних об'єктів. Це призводить до зменшення швидкості обміну інформаційними об'єктами і до збільшення часу затримки в доставці повідомлень. На відміну від технічної швидкості передачі B – швидкості передачі у відповідних каналах будь-яких символів, незалежно від їх семантичного змісту та вірності, назвемо швидкість передачі суто інформаційних символів достовірної інформації *абсолютною швидкістю* інформаційного обміну – B_a. Вважатимемо, що передача інформації здійснюється у вигляді пакетів, контроль цілісності виконується після приймання даного пакету, а потік впливів (викривлень) на інформаційні об'єкти - найпростіший. Останнє припущення дозволяє вважати підпорядкованою закону Пуассона кількість викривлень $n_в$ на інтервалі передачі пакету t_n, а ймовірність виникнення рівно k подій обчислити із виразу

$$P_k(t_n) = (\lambda \cdot t_n)^k \exp(-\lambda \cdot t_n)/(k!) = (n \cdot P_{викр})^{\mathrm{k}} \exp(-n \cdot P_{викр})/(\mathrm{k}!) , \quad (1)$$

де t_n – часова тривалість пакету, λ – інтенсивність впливів.

Оцінювання впливу протоколів організації обміну в ТКС на абсолютну швидкість інформаційного обміну. У протоколах, що використовують *ВЗЗ з очікуванням*, передача чергового пакету здійснюється тільки після отримання з приймальної сторони сигналу правильності прийому V. Припустимо, при довжині пакету n елементів m символів – суто інформаційні, а $k = (n - m)$ – службові, такі як заголовок пакету, контрольні ознаки тощо. Після передачі чергового пакету передаюча сторона очікує на підтвердження – квитанцію, довжина інформаційної частки якої є вкрай незначною, так що її загальна довжина близька до величини $k \approx (n - m)$. Отримане повідомлення, у разі виявлення на приймальній стороні помилки, стирається, а на передаючу сторону видається квитанція – сигнал перезапиту W для повторення передачі попереднього пакету. За умов негативного підтвердження або перевищення часу тайм-ауту, пакет передається повторно. Пакет стирається з накопичувача передавача лише після отримання позитивного підтвердження.

При цьому після передачі попереднього пакету час очікування, через який передавач видасть черговий або повторить попередній пакет, визначатиметься:

$$t_{оч} = 2t_{\mathrm{р}} + t_n + t_к + t_{\mathrm{q}} + t_{пк} + t_{ас} ,$$

де: $t_p = Д / \mathrm{V_c}$ – час розповсюдження сигналу від передавача до приймача чи зворотно у відповідному середовищі (вільний простір, кабель тощо), $Д$ – довжина лінії зв'язку для передачі сигналу, $\mathrm{V_c}$ – швидкість передачі сигналу в середовищі розповсюдження; $t_n = n / B$ - час, потрібний для приймання пакету; t_k - час формування і видачі квитанції (V або W); t_q – час декодування (пошуку наявності помилки) прийнятого пакету; $t_{nk} = (n - m)/B$ – час, потрібний для приймання квитанції (V або W); $t_{ас}$ – час аналізу квитанції (V або W).

Тобто $t_{оч} = 2t_{\mathrm{р}} + n/B + t_к + t_{\mathrm{q}} + (n - m)/B + t_{ас}$. За умов такої організації обміну в разі успішної передачі m інформаційних символів (тобто отримано сигнал V) витрачається

$(t_n + t_{оч})$ одиниць часу. На даному інтервалі часу абсолютна швидкість передачі інформації з імовірністю $P_0(t_n + t_{оч}) = \exp(-n \cdot P_{викр})$ дорівнює $B'_{a1} = m / t_{оч} = \mathrm{m}/(t_n + t_{оч})$.

За умови неуспішної передачі на цьому ж інтервалі часу (отримано сигнал W) абсолютна швидкість передачі інформації з ймовірністю $P_{>0}(t_n + t_{оч}) = 1 - \exp(-n \cdot P_{викр})$ дорівнює нулю $B_{a1} = 0$, оскільки передачі нової інформації при цьому не здійснюється.

Це означає, що середнє значення абсолютної швидкості для такої організації обміну:

$$B_{a1} = B'_{a1} \cdot \exp(-n \cdot P_{викр}) = \exp(-n \cdot P_{викр}) \cdot m/(t_n + t_{оч}) \qquad (2)$$

Зауважимо, що в каналі без завад при $P_{викр} = 0$ абсолютна швидкість $B_{a10} = \mathrm{m}/(t_n + t_{оч})$, а при $P_{викр} \to 1/\mathrm{n}$ абсолютна швидкість становитиме $B_{a11} = 0{,}37 \cdot \mathrm{m}/(t_n + t_{оч})$.

У разі оцінювання швидкості передачі в протоколах з використанням *ВЗЗ з безперервною (послідовною) передачею*, слід урахувати, що один цикл такого обміну складається із інтервалу обміну випадкової довжини та інтервалу повторної передачі можливих викривлень у кількості γ повідомлень, де γ – ємність накопичувача. Для визначеного потоку викривлень із законом розподілу Пуассона середня тривалість часового інтервалу між викривленнями (між перезапитами) дорівнює $t_{ппер} = 1/\lambda = 1/(B \cdot P_{викр})$. Оскільки передача одного пакету потребує n/B одиниць часу, за визначений часовий інтервал буде передано пакетів у кількості $N_{ппер} = B \cdot t_{ппер}/\mathrm{n} = 1/(\mathrm{n} \cdot \mathrm{P}_{\mathrm{викр}})$.

За умови перезапиту із накопичувача приймача стираються всі γ повідомлень і здійснюється їх повторна передача. Оскільки ємність накопичувача має задовольняти виразу $\gamma \geq 1 + t_{оч}/t_n$, то час повторної передачі повідомлень складе $t_{пп} = n \cdot (1 + t_{оч}/t_n)/B$.

Отже для передачі $B \cdot t_{пп}/n$ пакетів та γ повторень потрібен час:

$$(t_{ппер} + t_{пп}) = 1/(B \cdot P_{викр}) + \mathrm{n} \cdot (1 + t_{оч}/t_n)/B = \{[1 + P_{викр} \cdot (n + B \cdot t_{оч})]/(B \cdot P_{викр})\}.$$

Оскільки за цей час передається $m \cdot N_{ппер} = m/(n \cdot P_{викр})$ власне інформаційних символів, то абсолютна швидкість передачі інформації на інтервалі часу $(t_{ппер} + t_{пп})$ дорівнює:

$$B_{a2} = (m/(n \cdot P_{викр}))/\{[1 + P_{викр} \cdot (n + B \cdot t_{оч})]/(B \cdot P_{викр})\}$$

Звідки витікає: $$B_{a2} = (m \cdot B/\{n \cdot [1 + P_{викр} \cdot (n + B \cdot t_{оч})]\}. \qquad (3)$$

Акцентуємо увагу, що в каналі без завад при $P_{викр} = 0$ абсолютна швидкість $B_{a20} = B \cdot m/n$, а при $P_{викр} \to 1/\mathrm{n}$ ця величина становить $B_{a21} = (B \cdot m/n)/(2 + t_{оч}/t_n)$.

При визначенні швидкості інформаційного обміну для протоколів з використанням *ВЗЗ з адресним перезапитом* слід урахувати, що, на відміну від попередньо розглянутого протоколу, цикл такого обміну містить інтервал обміну випадкової довжини $t_{ппер} = 1/(B \cdot P_{викр})$ та інтервал повторної передачі лише одного, викривленого, повідомлення, який дорівнює $t_{пп} = n/B$. Отже, для передачі $B \cdot t_{пп}/n$ пакетів та одного повторення потрібен час:

$$(t_{ппер} + t_{пп}) = 1/(B \cdot P_{викр}) + \mathrm{n}/B = (1 + P_{викр} \cdot n)/(B \cdot P_{викр}).$$

Оскільки за цей час $(t_{ппер} + t_{пп})$ передається $m \cdot N_{ппер} = m/(n \cdot P_{викр})$ суто інформаційних символів, то абсолютна швидкість передачі інформації становитиме
$B_{a3} = (m/(n \cdot P_{викр}))/[(1 + P_{викр} \cdot n)/(B \cdot P_{викр})]$, з чого випливає

$$B_{a3} = m \cdot B/[(n \cdot (1 + P_{викр} \cdot n)] \qquad (4).$$

Зауважимо, що в каналі без завад при $P_{викр} = 0$ абсолютна швидкість $B_{a30} = B \cdot m/n$, а при $P_{викр} \to 1/\mathrm{n}$ ця величина становитиме $B_{a31} = (B \cdot m/n)/2$.

Для *протоколів з використанням ЗКК* характерна відсутність перезапитів і цикл обміну складатиметься лише із інтервалу передачі одного пакету $t_n = n / B$. У разі, якщо кількість викривлень не перевищує можливості коду, здійснюється передача пакету із n символів, із яких $m_{ЗКК}$ є інформаційними. Для визначеності вважатимемо, що протокол обміну передбачає використання завадостійкого корегувального коду із можливістю виявлення та виправлення *поодиноких* викривлень. Тоді за час передачі пакету t_n ймовірність передачі пакету із n символів, із яких $m_{ЗКК}$ є інформаційними, дорівнює ймовірності появи не більше одного викривлення, тобто дорівнюватиме:

$$P_0(t_n) + P_1(t_n) = \exp(-\lambda \cdot t_n) + (\lambda \cdot t_n) \cdot \exp(-\lambda \cdot t_n) = (1 + \lambda \cdot t_n) \cdot \exp(-\lambda \cdot t_n) = (1 + P_{викр} \cdot n) \cdot \exp(-P_{викр} \cdot n).$$

Тоді з імовірністю $\{1 - [P_0(t_n) + P_1(t_n)]\}$ кількість викривлень на інтервалі тривалості пакету перевищить можливості коду, що слід сприймати як надходження недостовірної інформації, а отже – як відсутність обміну.

З урахуванням викладеного середня кількість прийнятих на інтервалі t_n суто інформаційних символів складе $m_{ЗКК} \cdot (1 + P_{викр} \cdot n) \cdot \exp(-P_{викр} \cdot n)$, а абсолютна швидкість передачі інформації відповідно:

$$B_{a4} = (B \cdot m_{ЗКК} / n) \cdot (1 + P_{викр} \cdot n) \cdot \exp(-P_{викр} \cdot n) = m_{ЗКК} / n) \cdot B \cdot (1 + P_{викр} \cdot n) \cdot \exp(-P_{викр} \cdot n).$$

Залежності абсолютної швидкості передачі B_a від імовірності викривлень $P_{викр}$ представлено на рис. 1.

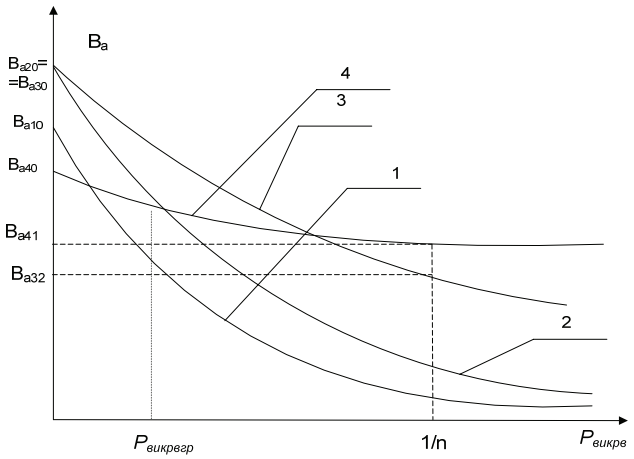


Рис.1. Залежності абсолютної швидкості від імовірності викривлень для ВЗЗ: 1- із очікуванням; 2 –із послідовною передачею; 3 – із адресним перезапитом; 4 – із застосуванням ЗКК.

Зауважимо, що в каналі без завад при $P_{викр} = 0$ абсолютна швидкість $B_{a40} = B \cdot m_{ЗКК} / n$, а при $P_{викр} \to 1/\text{n}$ відповідно - $B_{a41} = 0{,}74 \cdot (B \cdot m_{ЗКК} / n)$.

Висновки. Отже, протоколи організації обміну із ВЗЗ за абсолютною швидкістю передачі є більш ефективними (за умови $B_{a1} > B_{aЗКК}$) ніж протоколи організації обміну з ЗКК лише при доброму стані каналу, тобто малому значенні $P_{викр} < P_{викргрі}$, де $P_{викргрі}$ –величина імовірності викривлень, при якій абсолютна швидкість передачі даних для i – го типу протоколів із ВЗЗ дорівнює абсолютній швидкості передачі інформації для ЗКК (на рис. 1 i = 4). Окрім того відмітимо, що серед розглянутих протоколів із ВЗЗ найефективнішими є протоколи із адресним перезапитом.

Список літератури

1. Матов О.А., Василенко В.С. Будько М.М. Аналіз протоколів обміну інформацією у телекомуні каційних системах.// К.: Реєстрація, зберігання і обробка даних. - 2004. - № 4, том 6. с. 82 – 93.

2. Матов А.Я. Основы передачи дискретной информации. – Киев: КВИРТУ ПВО, 1977. –242 с.

УДК 004.522

В.О. Темніков, кандидат технічних наук, доцент,
О.В. Петейчук, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

КОНТРОЛЬ РОБОТИ АВІАДИСПЕТЧЕРА З ВИКОРИСТАННЯМ МОВНОГО СИГНАЛУ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

В статті авторами запропоновано використання системи розпізнавання мови в поєднанні з системою автентифікації особи за голосом. Шляхом спільного використання двох систем досягається покращення якості контролю доступу до систем управління.

Важливою ланкою у функціонуванні автоматизованої системи управління повітряним рухом є робота авіадиспетчера. Проблема людського фактору у сфері авіації є доволі актуальною, оскільки вона пов'язана з жорсткими вимогами до часу прийняття рішень та надійності авіадиспетчерів через високу швидкість процесів, що відбуваються під час виконання ними функціональних обов'язків.

Статистичний аналіз причин економічних та соціальних втрат транспортних (в тому числі, авіаційних) та інших компаній свідчить про те, що від 50 % до 80 % всіх аварій та порушень технологічного режиму трапляються з вини оперативного персоналу [1]. В українській авіації аварійність з вини персоналу за останні роки збільшилась на 10 % [1].

Одним із шляхів підвищення безпеки в авіації є неперервний контроль за діями авіадиспетчерів як суб'єктів авіаційних ергатичних систем (ЕС) у процесі виконання функціональних обов'язків під час робочої зміни, що дозволяє істотно знизити відсоток виникнення аварій та аварійних ситуацій через людський фактор.

Таким чином, актуальною є розробка автоматизованої системи контролю доступу (СКД) авіадиспетчерів до систем управління ЕС, що забезпечує вирішення таких задач як автентифікація авіадиспетчерів (для запобігання несанкціонованого доступу до систем управління) і моніторинг їх психофізіологічного стану (емоційного стану та стану втоми).

Особливостями роботи авіадиспетчера є:

- постійна нервово-емоційна напруженість, пов'язана з підвищеною відповідальністю за прийняті рішення, дефіцитом часу та великим обсягом контрольованих ситуацій;
- наявність встановленої спеціальної фразеології, яку авіадиспетчер повинен використовувати під час аудіозв'язку з повітряним судном.

В статті пропонується контроль за роботою авіадиспетчера здійснювати по голосу, аналізуючи моні відрізки, що форсуються в процесі аудіообміну авіадиспетчерів з повітряними та наземними авіаційними станціями. При цьому враховується вплив психофізіологічного стану (ПФС) авіадиспетчера на параметри його мовного сигналу.

В статті авторами розроблені алгоритм побудови однієї з підсистем СКД - підсистеми параметризації та структурна схема побудови системи контролю за роботою авіадиспетчера на основі аналізу мовних відрізків, що виділяються з неперервної (злитої) мови авіадиспетчерів.

Розроблений алгоритм включає такі етапи: сегментацію, пошук слів в неперервній (злитій) і розпізнавання оператора.

Голосовий сигнал, що надходить на мікрофон в процесі обміну інформацією, підлягає попередній обробці, в ході якої відбувається видалення шумів та сторонніх сигналів. Система розпізнавання мови з отриманого (очищеного) загального інформаційного потоку виділяє певну кількість слів, що були сказані в заданий проміжок часу. Після здійснюється виділення та розпізнавання лексичних елементів (під лексичними елементами розуміємо фонеми, алофони, дифони, тощо), яким властиво об'єднуватись в склади та морфеми, що в свою чергу створюють всі можливі еталони слів, речень та повідомлень, які містяться в попередньо сформованому фразеологічному словнику.

Процес пошуку слів в неперервній (злитій) мові в запропонованій авторами системі відбувається на основі скритних марківських моделей, що є ймовірнісною моделлю послідовності, яка з виділеного набору лексичних елементів намагається побудувати слова. Під час цього процесу лексичним елементам присуджується число ймовірностей їх використання. В стандартних скритних марківських моделях передбачається, що розподіл величини, яка спостерігається y_k залежить від не спостережуваного стану x_k з набору N значень [2]: $x_k \in \{X_1, X_2, ..., X_N\}$. Елементи X_k утворюють марківське коло стаціонарною матрицею переходів $a_{ij} \equiv P(x_k = X_j \mid x_{k-1} = X_i)$ та початковим розподілом $P(x_0)$ [2]. Формально це можна зобразити у вигляді:

$$P(x_k \mid x_0^{k-1}) = P(x_k \mid x_{k-1}),$$

тоді сумісна ймовірність може бути записана у вигляді

$$P(x_0^T) = P(x_0)\prod_{k=1}^{T} P(x_k \mid x_{k-1}). \text{ [2]}$$

Умовна ймовірність розподілення величини, що спостерігається y_k статистично пов'язана лише з поточним станом системи x_k [2]:

$$P(y_k \mid y_1^{k-1}, y_{k+1}^T, x_1^T)\mid_{x_k = Xj} = P(y_k \mid x_k)\mid_{x_k = Xj} = b_j(y_k)$$

Отримані під час розпізнавання мови параметри будуть використані на подальшому етапі, до якого система переходить автоматично, а саме автентифікації безпосередньо самого авіадиспетчера, в основі якого лежить процедура розпізнавання образів.

Розпізнавання образів – область наукових досліджень, яка пов'язана з розробкою принципів і побудовою систем, що призначені для визначення належності даного об'єкта до одного із заздалегідь виділених класів об'єктів. Кожен об'єкт описується сукупністю основних характеристик (інформативних параметрів) [3,4].

Оскільки під час робочої зміни в приміщенні знаходиться обмежена кількість авіадиспетчерів, доцільно використовувати як основний інформативний параметр мовного сигналу частоту основного тону (ЧОТ) та темпоральні характеристики мови.

В літературі описані різні методи оцінки ЧОТ мовного сигналу: кепстральний, автокореляційний, методи, що ґрунтуються на частотній та часовій селекції, інші методи

Авторами пропонується визначати частоту основного тону як середнє значення ЧОТ окремих фонем слів та фраз, що вимовляються авіадиспетчерами, отриману с використанням кепстрального методу з використанням програмного забезпечення для автоматизованої обробки даних Mathlab.

Кожний оператор має свої значення частоти основного тону, характерні тільки для нього. Але ЧОТ не являється константою та може коливатись в певних межах в залежності від інтонації, розміщення наголосу, емоційного стану дикторів та ін. Одним із способів підвищення точності роботи системи автоматичної автентифікації осіб по голосу може бути врахування розподілу ЧОТ окремих фонем мовного відрізку для кожного диктора, наприклад, шляхом використання відносних значень ЧОТ.

Важливим засобом вираження емоцій, що визначають ПФС оператора, являється динаміка зміни ЧОТ.

Проведений авторами аналіз виявив наступні закономірності в зміні параметрів мовного сигналу при визначенні ПФС авіадиспетчера: при емоційних зрушеннях варіюється висота голосу та діапазон її зміни, вираженість мелодичного рисунку фрази; в стані підвищеного емоційного збудження на 3-5 дБ підвищується середній рівень мови, приблизно на 20 % збіль-

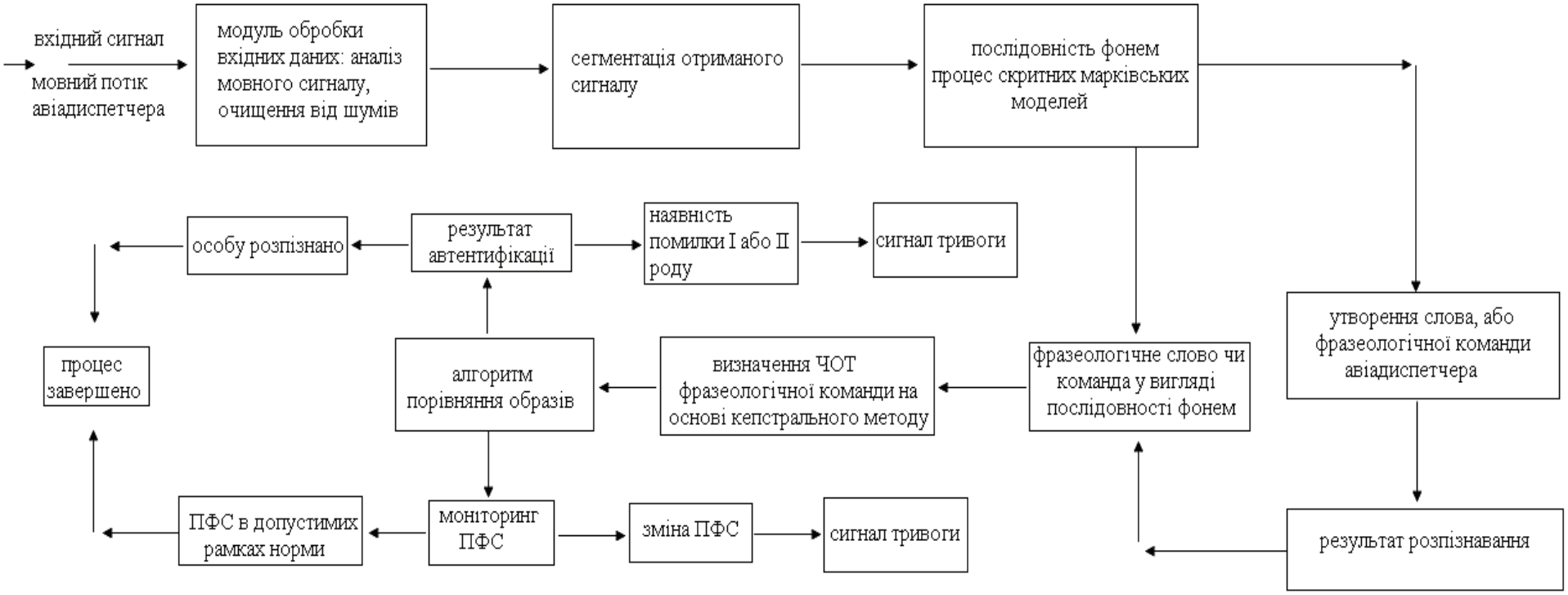


Рисунок 1. Узагальнена схема контролю за роботою авіадиспетчера

шується темп мови; в стані стомлення підвищується тривалість виголошеної фрази в зв'язку зі збільшенням довжини пауз та окремих звуків; при сильному стресі змінюється тембр голосу та інтонації мови.

Варіювання значення ЧОТ надає можливість стверджувати наявність відповідного авіадиспетчера на робочому місці, а вихід цього значення за рамки допустимої норми про зміну його ПФС.

Узагальнена структурна схема контролю за роботою авіадиспетчера, складена на основі вищесказаного, наведена на рис. 1.

Висновок

Запропонований авторами підхід дозволяє одночасно проводити розпізнавання особи, яка виконує свої функціональні обов'язки, та моніторинг її ПФС в режимі реального часу на основі аналізу мовного сигналу, що формується під час аудіообміну між авіадиспетчером та повітряними і наземними авіаційними станціями.

Проведення такого контролю за роботою авіадиспетчера дозволить зменшити вплив людського фактору на безпеку в різних сферах діяльності людей (на транспорті, в енергетиці та ін.), де оператори використовують певну встановлену фразеологію.

Список літератури

1. Буров О.Ю. Ергономічні основи розробки систем прогнозування працездатності люди ни - оператора на основі психофізіологічних моделей діяльності: дис... д-ра техн. наук: 05.01.04/НДІ проблем військової медицини Збройних Сил України.— К., 2006. — 329 с.

2. А.В. Королев, А.М. Силаев.// Алгоритм Витерби для моделей скрытых марковских процессов с неизвестным моментом появления скачка параметров// Изв.вузов. Радиофизика. 2005. Т.XLVIII, №4. С. 358-366.

3. Себестиан Г.-С. Процессы принятия решений при распознавании образов, пер. с англ., К., 1965. http://bse.sci-lib.com/article095541.html

4. Вапник В. Н., Червоненкис А. Я. Теория распознавания образов, М., 1974. http://bse.sci-lib.com/article095541.html

УДК 621.38:004.056.5(045)

Е.В. Мельников, кандидат технических наук, доцент, Д.С. Дундич,
(Национальный авиационный университет, Украина)

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В РАДИОЗАКЛАДНЫХ УСТРОЙСТВАХ С НАКОПЛЕНИЕМ ИНФОРМАЦИИ

Статья посвящена вопросу практической реализации радиозакладных устройств (РЗУ) с высокими показателями скрытности. Рассмотрены современные схемотехнические решения и компонентная база, а также их эффективность при решении задач организации скрытного функционирования РЗУ в условиях работы современной аппаратуры радиопротиводействия.

Радиозакладки являются самыми распространенными техническими средствами съема акустической информации. Их популярность объясняется простотой использования, относительной дешевизной, малыми размерами и возможностью камуфляжа. Столь высокая популярность РЗУ привела к появлению огромного числа модификаций различного поискового оборудования, дающего высокую гарантию обнаружения скрытой радиопередачи. Этот факт, в свою очередь, заставляет конструкторов применять все новые решения в схемотехнике радиозакладок.

Одно из самых действенных решений, позволяющих ослабить наиболее демаскирующий фактор радиозакладки (постоянное излучение), применение внутренней памяти. При этом необходимо сохранить преимущества устройства, такие как миниатюрность, дешевизна, дальность съема сигнала и др. Использование памяти требует также наличия дистанционного управления записью и передачей данных, что ведет к увеличению габаритов устройства и величины потребляемого тока. Решением для реализации устройства такого класса может быть использование современны микроконтроллеров и микросхем с высокой степенью интеграции. Далее рассмотрен пример такого решения.

Устройство состоит из трех функциональных блоков: записи/считывания, дистанционного управления и радиопередачи.

Блок записи и считывания (рис.1) состоит из следующих элементов: контроллер RISC-архитектуры фирмы Atmel AT90S8535, выполняющий функции управления устройством; счетверенный операционный усилитель LM324, предназначенный для усиления аналоговых сигналов и ограничения верхних граничных частот этих сигналов до 4 кГц; энергонезависимая память MMC FLASH CARD объемом 512 Мб (позволяет хранить до 16 часов записанной речевой информации).

Система управляется тремя кнопками: "Очистка", "Запись" и "Воспроизведение". DataFlash напрямую связана с микроконтроллером с помощью шины SPI. Кварцевый резонатор с двумя развязывающими конденсаторами (C4, C5) генерирует системные тактовые импульсы. Микрофонный усилитель является простым инвертирующим усилителем. Коэффициент усиления устанавливается с помощью R5 и R2. Через резистор R1 подается питание на микрофон, а C1 блокирует любые постоянные составляющие на входе усилителя. С помощью резисторов R3 и R4 устанавливают смещение. На элементах R6 и C2 собран фильтр нижних частот первого порядка. Кроме того, R6 защищает усилитель от коротких замыканий выходной цепи. После встроенного в микроконтроллер ЦАП сигнал поступает на низкочастотный фильтр 5-го порядка и повторитель напряжения. Фильтр состоит из двух фильтров Чебышева второго порядка (R12, R13, R14, C7, C8 и R14, R15, R16, C9, C10) и пассивного фильтра первого порядка (R16, C11). Частоты среза этих трех фильтров немного сдвинуты относительно друг друга ("шахматный сдвиг"). Общая частота среза составляет 4000 Гц, что примерно равно 1/4 частоты широтно – импульсной модуляции (15686 Гц). Повторитель напряжения необходим для согласования каскадов и предотвращения обратной связи с выхода. Конденсатор C12 блокирует постоянную составляющую на входе передатчика.

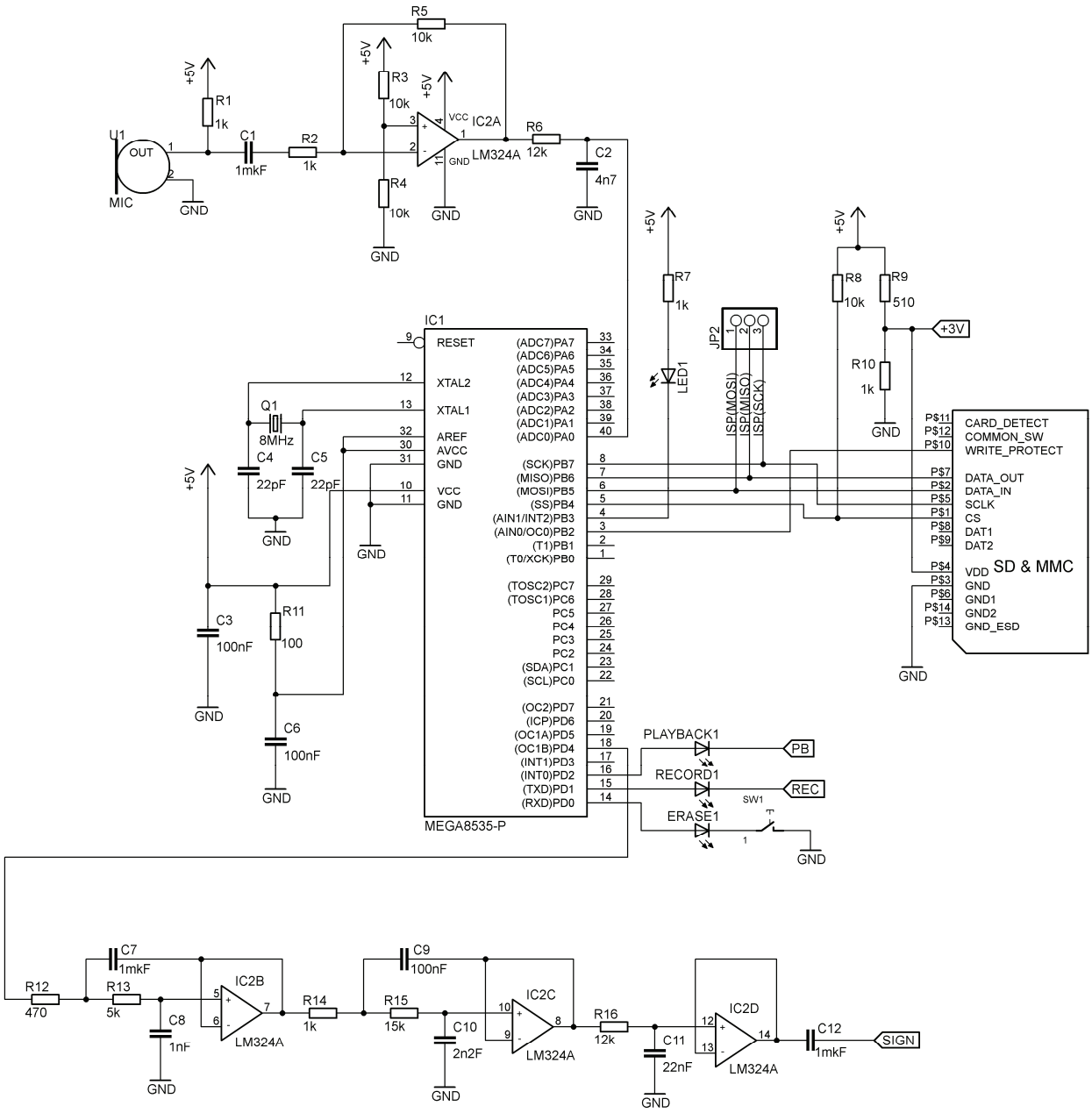


Рис 1. Блок записи и считывания

Блок дистанционного управления (ДУ) состоит из передатчика и приемника, выполненных на микросхемах LM1871 и LM1872 фирмы «National Semiconductors». Работая совместно, они обеспечивают передачу четырех команд в виде двухразрядного цифрового кода. В блоке ДУ используется амплитудная манипуляция. На рис. 2 и 3 показаны схемы включения этих микросхем для совместной работы на частоте 49МГц.

Цифровые входы-выводы 5 и 6 передатчика (рис. 2) – каналы цифрового управления. Изменение логических уровней на них выключателями 1 и 2 приводит к изменению уровней на соответственных выходах приемника.

После фиксированного стартового импульса на кодер LM1871 передаются пакеты из шести импульсов различной длительности, затем следует более длительный импульс синхронизации. Длительность импульсных пакетов составляет 20мс при заданной емкости С1.

С выхода кодера импульсы поступают на амплитудный манипулятор в составе микросхемы. Он управляет напряжением питания однокаскадного передатчика, выполненного на ВЧ транзисторе, входящем в состав микросхемы (выводы 9, 10, 11). Частота несущей стабилизируется кварцевым резонатором. Напряжение смещения на базу этого транзистора посту-

пает через R4 от внутреннего стабилизатора. Передатчик обеспечивает мощность около 10-20 мВт и дальность передачи до 300м.

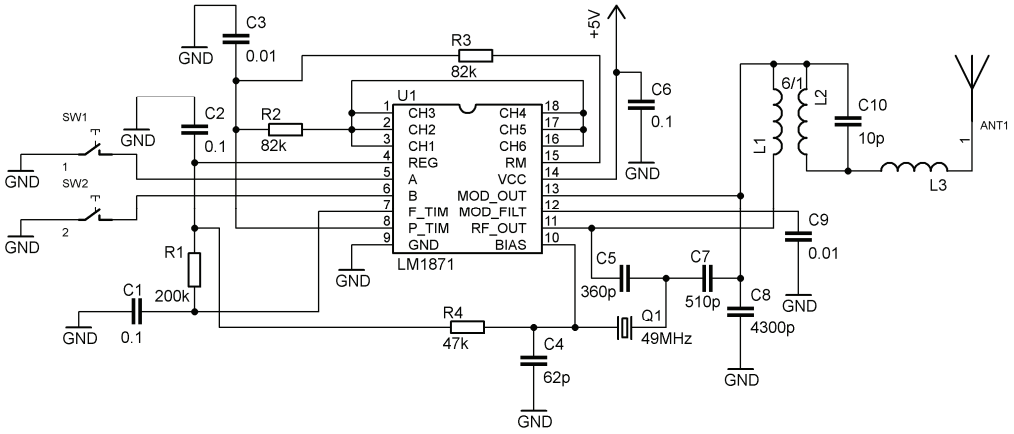


Рис 2. Схема электрическая принципиальная передатчика блока ДУ

В составе микросхемы LM1872 (рис.3) входят супергетеродинный АМ приемник с однократным преобразованием частоты и логический дешифратор, рассчитанный на прием четырех двоичных команд (на два цифровых вывода 7 и 9).

Приемник имеет реальную чувствительность 12мкВ, диапазон действия АРУ 70 дБ.

Входной сигнал от антенны поступает на входной контур L1C1 и далее на смеситель. Частота гетеродина задается кварцевым резонатором, подключенным между выводами 1 и 2 гетеродинного контура L2C3. С выхода смесителя (вывод 18) сигнал промежуточной частоты (ПЧ) поступает на контур (C6, L4), который выделяет частоту 455кГц. С катушки связи L5 сигнал ПЧ поступает на усилитель ПЧ с системой АРУ.

Детекторный контур на катушке L3 также настроен на частоту 455кГц. Длительность импульсов, из которых состоит код излучаемой передачи, зависит от конденсатора C9 (при заданной емкости в 47нФ длительность импульсов 4,7 мс).

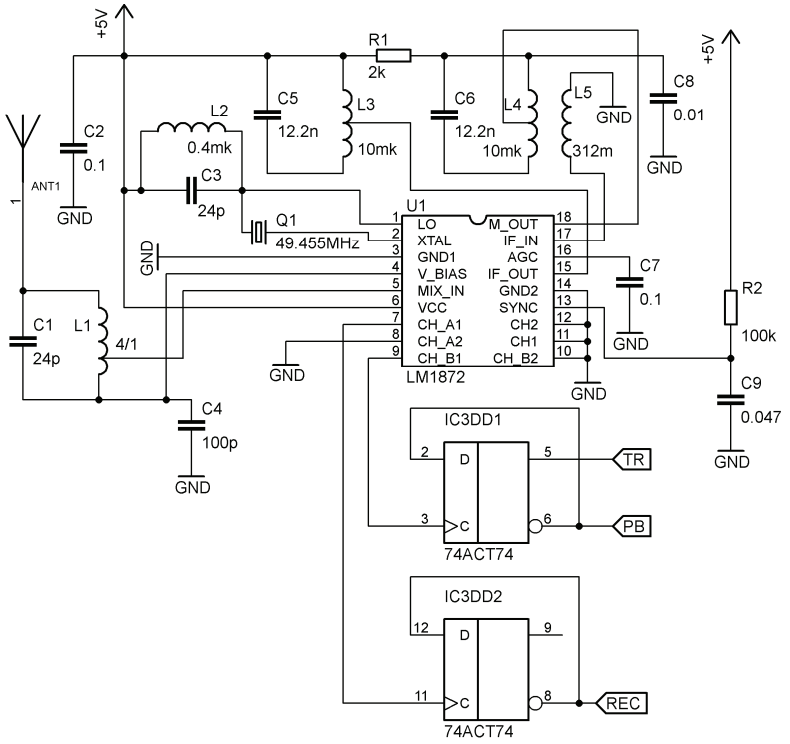


Рис 3. Схема электрическая принципиальная приемника блока ДУ

За основу передатчика (рис.4) взята микросхема MAX1472. Применена модуляция кварцевого резонатора по частоте сигналом, поступающим с выхода каскада воспроизведения записывающего диктофона. Входная цепь представляет собой стандартный 2-х каскадный усилитель низкой частоты (УНЧ). Достоинством схемы является то, что вся высокочастотная часть (ВЧ) передающего тракта находится внутри микросхемы (умножитель на 32, усилитель ВЧ). Наружу выведена частотозадающая цепь на достаточно низкочастотном кварце (13 МГц), поэтому требованиями к монтажу СВЧ для данного передатчика можно пренебречь. Выходная частота (при резонаторе 13 МГц) равна 416 МГц, ток потребления 12мА, устойчивый прием осуществляется на расстоянии до 400м.

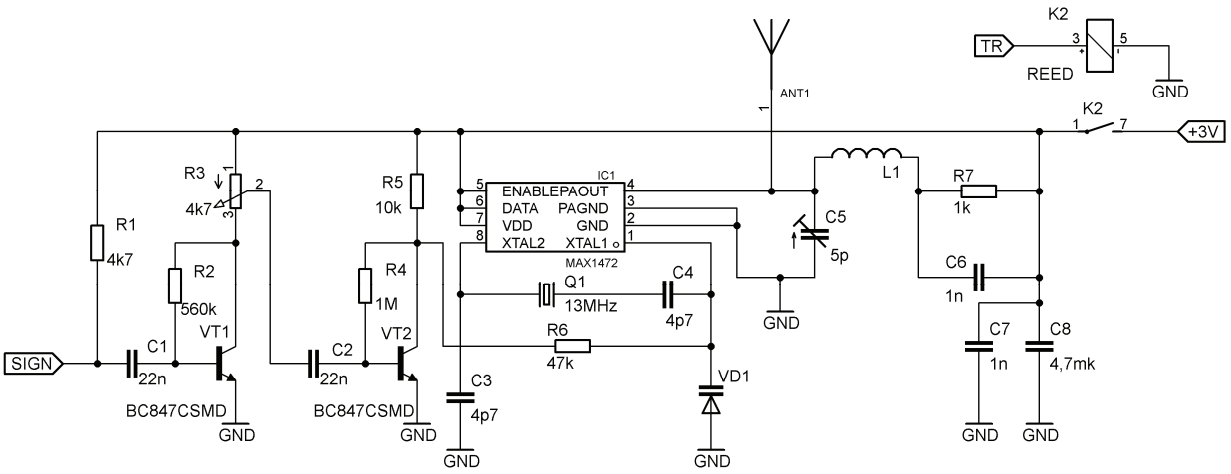


Рис 4. Схема электрическая принципиальная блока радиопередатчика

Описание работы устройства. При нажатии кнопки 1 передатчика дистанционного управления на выходе 7 приемника появляется импульс длительностью 4,7 мс, который подается на вход D-триггера DD2, работающего в счетном режиме. D-триггер подключен к выходу PD1 микроконтроллера. Удерживая низкий уровень, он обеспечивает непрерывную запись аудиосигнала на карту памяти MemoryFlash. Повторное нажатие кнопки 1 прекращает запись. Нажатие кнопки 2 запускает D-триггер DD1, сигнал низкого уровня с которого поступает к выходу микроконтроллера PD2 и из памяти начинается считывание записанных ранее данных. Сигнал с DD1 также вызывает срабатывание миниатюрного реле, управляющего питанием радиопередатчика. С выхода ЦАП микроконтроллера записанный звуковой сигнал подается на вход передатчика.

Применяя Li-ion элемент питания, микросхемы в корпусах SOIC, TQFP корпус микроконтроллера и SMD компоненты можно достигнуть достаточно малых размеров устройства (4см х 4см х 0,5см) и большой продолжительности автономной работы – до 200 часов.

Список литературы

1. Максименко Г.А., Хорошко В.А. Г.А. Методі выявления, обработки и идентификации сигналов радиозакладных устройств.- К.: ООО «ПолиграфКонсалтинг»,2004.–317с.

2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы «ATMEL».- М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2004.-560с.

3. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы.- М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2004.-288с. (серия «Мировая электроника»)

4. Ревич Ю. В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008.

5. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. -М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2007.

УДК 004.681

Б.Є. Журиленко, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Є.О. Дубовий
(Національний авіаційний університет, Україна)

ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ЕЛЕКТРИЧНОГО СИГНАЛУ НА ЧАСТОТАХ МОВНОГО ДІАПАЗОНУ (250-4000 Гц) ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АКУСТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Робота присвячена актуальним питанням визначення та виявлення електричних каналів витоку інформації за рахунок акустоелектричних перетворювачів. Наведено характеристики розробленого пристрою, які забезпечують необхідні параметри для дослідження і вимірювання акустоелектричних ефектів. Даний пристрій дозволить позбутися від дорогого пошукового комплексу «Піранья» в лабораторному циклі дослідження акустоелектричних перетворювачів.

Людська мова є природним і найбільш поширеним способом обміну інформацією між людьми, і існує багато методів перехоплення або підслуховування цієї інформації. Звуком називаються механічні коливання в пружних середовищах і тілах (твердих, рідких і газоподібних), частоти яких лежать в межах від 17-20 Гц до 20000 Гц. Ці частоти механічних коливань здатне сприймати людське вухо. Механічні коливання нижче 17 Гц називають інфразвуками, а понад 20000 Гц – ультразвуками. Акустичний тиск, що виникає під час розмови, може викликати механічні коливання елементів електронної апаратури, що у свою чергу, приводить до появи електричних струмів, напруги і електромагнітних випромінювань або їх змін при певних обставинах. Конфіденціальна інформація, яку містять в собі мовні повідомлення викликає зацікавленість у конкурентів або зловмисників в здобутті подібної інформації. Враховуючи особливості розташування більшості офісів комерційних підприємств в житлових будинках, розмежованих конструкціями з недостатнім акустичним захистом, завдання захисту конфіденційних переговорів стає особливо актуальним і досить складним.

Оцінюючи можливості захисту конфіденційних переговорів у приміщенні, доцільно передбачити можливість використання зловмисником елементів апаратури, що мають в собі акустоелектричний ефект - ланцюги дзвінків телефонних апаратів, вторинний годинник, динаміки мереж трансляції, деякі сповіщувачі систем охоронної і пожежної сигналізації і тому подібне.

Акустичні перетворювачі можуть бути наступних видів:

1. індуктивні;
2. ємкісні;
3. п'єзоелектричні;
4. оптичні.

В основному витік небезпечних акустичних сигналів здійснюється через допоміжні технічні засоби і системи. Допоміжні технічні засоби і системи, що знаходяться в зоні дії небезпечних акустичних сигналів, не рідко є причиною витоку конфіденціальної інформації за межі контрольованої зони. Сигнали в ланцюгах допоміжних технічних систем і засобів, обумовлені дією зовнішніх акустичних полів, можуть бути вельми значними і перевищувати гранично допустимі для цих ланцюгів величини. До допоміжних технічних систем і засобів відносяться:

1. Системи відкритого телефонного зв'язку;
2. Системи радіотрансляції;
3. Системи електроживлення;
4. Системи охоронної і пожежної сигналізації.

Канали витоку інформації, що виникають за рахунок наявності перетворювальних акустоелектричних елементів в ланцюгах різних технічних пристроїв небезпечні тим, що вони можуть існувати в їх нормальних режимах роботи, тобто зловмисник може скористатися ними без проникнення в приміщення або зону, що охороняється, і без встановлення

спеціальних закладних пристроїв. Добре відомі методи отримання акустичної інформації з приміщень за рахунок підключення до ліній телефонних апаратів (особливо у випадках, коли в приміщенні розташовані апарати з електромеханічними дзвінками), лініями диспетчерської або охоронної сигналізації і тому подібне.

Таким чином, значна кількість елементів різних пристроїв, що використовуються в практичній діяльності, володіють акустоперетворювальним ефектом, отже, можуть бути джерелом для створення каналу витоку конфіденційної акустичної інформації. Можливий перелік таких елементів наведено в таблиці 1:

Таблиця 1. Перелік акустоперетворювальних елементів різних пристроїв

Електродинамічні	Електромагнітні	Електростатичні	П'єзоелектричні	Магнітострикційні
Електро-динамічний гуч-номовець	Електричні дзвін-ки	Конденсатори	П'єзодатчики	Фільтри
Електро-динамічний мік-рофон	Дзвінкові ланцю-ги телефону	Реле дроту	Кварцеві вібратори	Резонатори
Котушечні, стрі-чкові, Електро-динамічні вимі-рювальні прила-ди	Вторинний елек-трогодинник, Електромагнітний мікрофон, Елект-ромагнітні вимі-рювальні прилади	Плати, Мікрофони конденсаторні електретні	Напівпровідниковий мікрофон, П'єзоелек-тричний мікрофон, Датчики зворотньо-го зв'язку	Елементи акустое-лектроніки, акус-томеханічні перет-ворювачі

Порівняння різних типів акустоелектричних перетворювачів показує, що деякі з них по чутливості близькі до спеціально створених для перетворення звукової енергії в електричну - тобто до мікрофонів. Так, наприклад, чутливість деяких дзвінкових кіл телефонних апаратів досягає 0,05-10 мВ/Па, трансформатора складає 10-200 мкВ/Па, електричного годинника, в залежності від марки, коливається в межах від 100 до 500 мкВ/Па і навіть електричного вентилятора в режимі малих обертів — 10-100 мкВ/Па. Враховуючи таку чутливість можливих джерел витоку інформації, було розроблено пристрій для дослідження сигналів, що утворюються на акустоелектричних перетворювачах.

З метою дослідження сигналів, що надходять з акустоелектричних перетворювачів було розраховано і створено електронний пристрій, що забезпечує: підсилення електричного сигналу з частотою 250-4000 Гц, який формується на різних типах перетворювачів (а саме реле, динаміку і телефонному апараті); максимальне зменшення рівня шуму, завад і наведень на виході пристрою, за рахунок симетричного входу і смугових фільтрів.

Розроблений пристрій має коефіцієнт підсилення приблизно рівний 18000 на частотах 1-1,5 кГц і значно зменшує рівень шумів і завад, за рахунок симетричного входу і смугових фільтрів. Повністю розраховано і підібрано номінали всіх елементів кожного каскаду підсилювального пристрою, а саме: двостороннього діодного обмежувача, диференціального підсилювача на операційному підсилювачі (ОП), першого активного полосового фільтра на ОП, другого активного полосового фільтра на ОП, інвертуючого підсилювача на ОП, фільтруючої системи блока живлення.

Двосторонній діодний обмежувач складається із зустрічних діодів, які обмежують як позитивні, так і негативні амплітуди напруги на встановленому рівні. Електрична схема двостороннього діодного обмежувача представлена на рисунку 1.

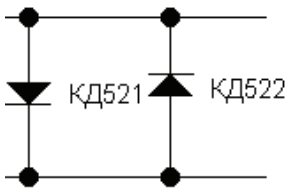


Рис. 1. Електрична схема двостороннього діодного обмежувача

Призначення: обмежувач перешкоджає перевантаженню схеми високими по напрузі голосовими сигналами. При подачі високої напруги на обмежувач синусоїда може набути зрізаної (рівної) форми.

Диференціальний підсилювач — електронний підсилювач з симетричним входом, вихідний сигнал якого дорівнює різниці вхідної напруги, помноженій на константу. Було використано схему диференціального підсилювача на базі одного операційного підсилювача УД708. При чому коефіцієнт підсилення схеми рівний:

$$K = R_2 / R_1 = 100$$

Електрична схема диференціального підсилювача представлена на рисунку 2.

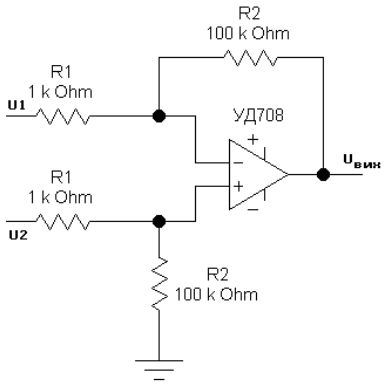


Рис. 2. Електрична схема диференціального підсилювача

В схемі для отримання високого значення коефіцієнту послаблення синфазного сигналу (КПСС) необхідно забезпечити точне узгодження резисторів, і тому було підібрано пари резисторів R_1 і R_2 з опором узгодженим до третьої цифри після знаку коми. Було обрано саме цю схему, так як не потрібно занадто велике значення коефіцієнту послаблення синфазного сигналу; для вирішення даної задачі повністю задовольняє коефіцієнт послаблення синфазного сигналу рівний 40 дБ, який забезпечує дана схема.

Для кращої вибірковості полоси частот (250-4000 Гц), було використано два активних полосових фільтра. Було використано активний полосовий фільтр на базі одного операційного підсилювача УД708, який об'єднує в собі схему інтегратора (фільтра нижніх частот) та диференціатора (фільтра високих частот). Полоса пропускання 250-4000 Гц. Далі приведений розрахунок елементів схеми фільтра для двох частот зрізу (250 Гц і 4кГц):

$f_1 = 4000$ Гц $\qquad f_2 = 250$ Гц

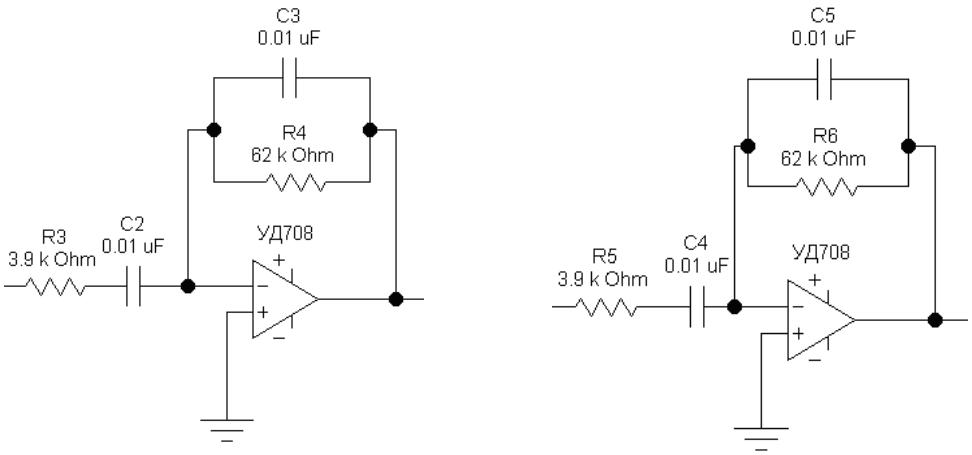
$C_3 = 0.01 \cdot 10^{-6} \qquad C_2 = 0.01 \cdot 10^{-6}$

$f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot C_3} \qquad f_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_4 \cdot C_2}$

$R_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_3 \cdot f_1} \qquad R_4 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_2 \cdot f_2}$

$R_3 = 3.979 \cdot 10^3 \qquad R_4 = 6.366 \cdot 10^4$

За результатами було підібрано номінали елементів $R_3 = 3.9$ кОм і $R_4 = 62$ кОм, що повністю задовольняє частотним вимогам фільтра. Електрична схема першого активного полосового фільтра представлена на рисунку 3, а.



а б

Рис. 3. Електричні схеми активних полосових фільтрів: а – першого; б – другого

Після випробування пристрою з одним активним полосовим фільтром було вирішено додати ще один ідентичний фільтр (тобто зробити подвійну фільтрацію) задля покращення частотної характеристики (зменшення спотворень сигналу на осцилограмі пов'язаних з шумом та завадами отриманими на виході пристрою при використанні одного фільтру). Електрична схема другого активного полосового фільтра показана на рисунку 3, б.

Останнім підсилювальним каскадом являється простий інвертуючий підсилювач. За рахунок резистора R8 в схемі забезпечується глибокий негативний зворотний зв'язок. Операційний підсилювач завжди підсилює диференціальну напругу, яка прикладена безпосередньо між інвертуючим і неінвертуючим входами. При цьому коефіцієнт підсилення: $K = R_8 / R_7 = 100$

Тобто інвертуючий підсилювач є останнім підсилювальним каскадом, кінцево підсилює наш відфільтрований сигнал і подає його на вихід.

Фільтруюча системи блока живлення являє собою елемент живлення з двома фільтрами нижніх частот (для не пропускання високочастотних завад і наводок) у вигляді RC ланцюгів, до складу яких входять резистори R_9 з номіналом 2 кОм та електролітичні конденсатори C_7 з номіналом 0.01 мкФ, а також пари плоских конденсаторів C_6 з номіналом 0.01 мкФ, що використовуються для додаткового подавлення високочастотних наводок.

Провід, що з'єднує акустоелелектричні перетворювачі та диференціальний підсилювач (на вході), було екрановано, задля зменшення впливу наведень частоти електромережі.

Пристрій має коефіцієнт підсилення приблизно рівний 18000 на частотах 1-1,5 кГц і значно зменшує рівень шумів, за рахунок симетричного входу і смугових фільтрів. Були отримані АЧХ і прохідна характеристика пристрою.

Висновки. В результаті виконаної роботи були отримані рівні сигналу з акустоелектричних пере-творювачів (таких як реле, динамік та дзвінковий ланцюг телефонного апарату) достатні для оцінки можливості витоку інформації по електричному каналу, розроблено підсилювач, що може використовуватись, як компактна заміна диференційного підсилювача «Піранья».

Список літератури

1. Хорошко В.А., Чекатков А.А. Методи й засоби захисту інформації / В.А. Хорошко, А.А. Чекатков. — К. : ЮНІОР, 2003. — 501 с.

2. Полмар Н., Аллен Т.Б. Енциклопедія шпигунства: пер. з англ. В. Смирнова. — М.: КРОНА-ПРЕСС, 1999. — 816 с.

3. Хореев А.А. Способы и средства защиты информации: Учеб. пособие. – М.: МО РФ, 1999. – 316 с.

СЕКЦІЯ 3.

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА CALS-ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004:378 (477, 46)

П.М. Павленко, д.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПІДГОТОВКИ ІТ-ФАХІВЦІВ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ

Представлено методичне обґрунтування підготовки ІТ-фахівців з упровадження та експлуатації спеціалізованих комп'ютерних систем виробничого призначення

Динамічний розвиток галузі інформаційних технологій (ІТ) вимагає нових принципів і механізмів навчальної роботи всіх технічних університетів та інститутів України. Особливо це стосується підготовки ІТ-фахівців виробничого призначення тобто фахівців з упровадження та експлуатації спеціалізованих комп'ютерних систем або ж інтегрованих автоматизованих систем виробничого призначення – CAD/CAM/CAE-, ERP-, PDM- та інших систем автоматизації процесів життєвого циклу промислових виробів.

Промисловим підприємствам потрібні молоді ІТ-фахівці, які не тільки отримали знання згідно з вузькими рамками своєї спеціальності, а й отримали б цілий спектр ділових умінь та професійних навичок, що дозволило б максимально швидко та ефективно виконувати свої службові обов'язки. Саме перелік основних знань, умінь та навичок, разом з переліком службових обов'язків і назв посад, становить основу кваліфікаційних рівнів випускників вищої технічної школи. Детальний опис кваліфікаційних рівнів разом з галуззю використання фахівця повинна бути основою галузевих стандартів вищої школи України з представлення освітньо-професійних характеристик випускників-бакалаврів, спеціалістів і магістрів.

На жаль, існуючі вітчизняні освітні стандарти суттєво відстають від міжнародного досвіду в цьому питанні, сучасних вимог та потреб промисловості. В них, по-перше, не відображено вимоги до професійної компетенції по кваліфікаційним рівням, які повинні бути фундаментом у формуванні учбових освітніх програм (ОКХ та ОПП). По-друге, не враховані професійні вимоги галузевих міністерств та провідних ІТ-компаній.

Практика європейської освітньої системи пропонує оцінювати якість професійної освіти саме через компетенції випускника, під якими розуміють інтегрований результат освоєння освітніх програм [1, 2]. Компетенції фахівця повинні забезпечуватись його успішною професійною роботою, кар'єрним ростом, соціальною мобільністю та затребуваністю на ринку праці.

Міжнародний освітній стандарт SE 2004 має класифікацію освітніх одиниць по кожному із напрямів підготовки фахівців та формує вимоги до професійної кваліфікації фахівця [3]. Разом з розробленими професійними освітніми стандартами, які використовуються зацікавленими галузевими міністерствами й ІТ-компаніями в Росії та інших промислово розвинутих країнах світу, міжнародні освітні стандарти також є базовим фундаментом для вдосконалення й розвитку вітчизняних державних освітніх стандартів вищої професійної освіти з урахуванням вимог ринку праці та міжнародних тенденцій розвитку вищої освіти.

У даний час українське промислове виробництво, насамперед, авіаційна галузь інтенсивно переходить до розробки, виготовлення та експлуатації техніки на основі цифрових 3D-технологій з переходом від паперової документації до електронного опису, який використовується фахівцями на всіх етапах життєвого циклу виробу. Це складний та наукомісткий процес, пов'язаний з вирішенням низки наукових, кадрових та інженерних задач. При цьому, для збільшення ефективності вітчизняна промисловість повинна мати критичну масу інженерних кадрів, які вирішують задачі зі створення та експлуатації сучасної техніки з широким використанням спеціалізованих комп'ютерних систем. Розробка та впровадження сучасних інтегрованих інформаційних систем на всіх етапах життєвого циклу

виробів забезпечує оперативне реагування на зміни вимог ринку, оптимізацію витрат на оновлення продукції та модернізацію внутрішніх виробничих процесів.

У зв'язку з цим, виникає нагальна потреба в адаптації, експлуатації й модернізації існуючих та в розробці нових спеціалізованих комп'ютерних систем виробничого призначення, які реалізують інформаційну підтримку та управління життєвим циклом виробів для промислових підприємств України. До спеціалізованих комп'ютерних систем виробничого призначення відносять: системи управління даними (PDM-системи), системи управління виробництвом (ERP-системи), інформаційно-діагностичні системи та інші, які в сукупності реалізують сучасні CALS-технології та PLM-рішення.

Таким чином, розвиток сучасних ІТ та необхідність забезпечувати конкурентоспроможність у сучасній глобальній економіці створили нагальну потребу у фахівцях з комп'ютерної інженерії, спроможних комплексно, за допомогою спеціалізованих комп'ютерних систем виробничого призначення вирішувати задачі, що виникають у процесі діяльності промислових підприємств, а саме:

- виконувати розробку, супровід і модифікацію всіх видів забезпечень спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС);
- виконувати аналіз структури та проектування СКС;
- розробляти оптимальні компоненти СКС, їх інтеграцію в єдине інформаційне середовище підприємств;
- розробляти та компонувати структури СКС для задач віртуального моделювання, управління динамічними об'єктами, діагностування авіаційних технічних об'єктів і засобів;
- забезпечувати організацію обчислювальних процесів у СКС та адміністрування комп'ютерних мереж для розосереджених об'єктів управління;
- упроваджувати й експлуатувати СКС на промислових підприємствах, організаціях та установах;
- виконувати дослідження й розробки при створенні СКС та віртуальному моделюванні об'єктів і виробничих процесів та ін.

Вказаний перелік відповідає основним видам діяльності ІТ-фахівців з галузі знань 0501 «Інформатика та обчислювальна техніка» та напряму «Програмна інженерія» 6.050103 зі спеціальності «Спеціалізовані комп'ютерні системи» 7(8).05010203 відповідно до затвердженого переліку спеціальностей з підготовки фахівців у вищих учбових закладах за освітньо-кваліфікаційними рівнями «Спеціаліст» і «Магістр» (постанова Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2010 р. №787).

У даний час CALS-технології та PLM-рішення є основним науково-методичним і практичним інструментом, який забезпечує якість, безперервність та конкурентоздатність технічних рішень в умовах глобалізації економіки. Інтеграція існуючих спеціалізованих комп'ютерних систем, їх розробка та впровадження з метою цифрового 3D-моделювання як промислових виробів, так і виробничих процесів в єдиному інформаційному середовищі є надзвичайно перспективним напрямком для авіаційної галузі, оскільки авіація – одна з найважливіших макроструктур промисловості України, без розвитку якої неможливий успішний розвиток промисловості й суспільства в цілому.

Подальший розвиток авіаційної галузі України, широке застосування сучасних спеціалізованих комп'ютерних систем, що реалізують CALS-технології та PLM-рішення для управління життєвим циклом транспортних авіаційних засобів (від розробки і виготовлення до утилізації), для управління та інформаційної підтримки авіатранспортних підприємств, а також інтеграція України в європейські та світові авіатранспортні системи підтверджують необхідність і важливість підготовки відповідних кваліфікованих кадрів. Ці фахівці повинні мати знання із:

- сучасних інформаційних систем з цифрового моделювання виробів і виробничих процесів авіаційних підприємств;

- сучасних інтегрованих інформаційних систем з управління інформацією по життєвому циклу виробів (PDM-систем);
- сучасних інформаційних технологій віртуальної взаємодії авіаційних і транспортних систем комплексів;
- автоматизованих систем управління авіаційними підприємствами та всією галуззю (ERP-, CRM-, SCM-системи тощо);
- 3D-технології інтерактивних віртуальних лабораторій з моделювання штатних і нештатних ситуацій;
- сучасних спеціалізованих інформаційно-діагностичних систем авіатранспортних та інших комплексів і засобів.

Такі додаткові знання відповідають спеціалізації «Інтегровані автоматизовані системи та технології».

Авіакосмічна галузь в Україні є однією з найбільш розвинутих наукомістких галузей і має постійну потребу у фахівцях з CALS-технологій та PLM-рішень. Підвищення ефективності роботи підприємств галузі також досягають за рахунок наскрізної інформаційної підтримки всіх процесів засобами спеціалізованих комп'ютерних систем, що є дуже актуальним. Тому як підприємствам авіакосмічної галузі, так й іншим промисловим підприємствам України потрібні фахівці цієї спеціальності.

За маркетинговими дослідженнями, які проводились інститутом інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету, потреба підприємств тільки київського регіону у підготовці ІТ-фахівців за напрямом «Програмна інженерія» спеціальності «Спеціалізовані комп'ютерні системи» за професійним спрямуванням (спеціалізацією) «Інтегровані автоматизовані системи та технології» становить до 100 осіб на рік. Це зумовлено широким застосуванням закордонних інтегрованих автоматизованих систем – CAD/CAM/CAE-, PDM-, ERP- та інших систем на авіаційних підприємствах і підприємствах, підпорядкованих Національному космічному агентству України.

Потреба у таких фахівцях також зумовлена необхідністю технічної, інженерної та кадрової відповідності українських підприємств своїм міжнародним партнерам, замовникам і постачальникам, підвищеним рівнем складності виробничих завдань, що вирішуються на підприємствах.

Висновки

Таким чином, відкриття в Національному авіаційному університеті спеціальності «Спеціалізовані комп'ютерні системи та технології» з підготовки бакалаврів, спеціалістів і магістрів за напрямом «Програмна інженерія» забезпечить країну фахівцями з рівнем підготовки, який відповідатиме вимогам державних стандартів якості освіти й задовольнить потреби промислових підприємств, установ та організацій у фахівцях із спеціалізованих комп'ютерних систем, які реалізують інформаційну підтримку всього життєвого циклу виробів згідно з вимогами міжнародних інтеграційних CALS-технологій та PLM-рішень.

Список літератури

1. *Никитин В.В.* Информационно-методическое обеспечение формирования перечня направлений и специальностей в области информационно-коммуникационных технологий. – Москва. 2006. – 272 с.

2. Зарубежное образование в области информационно-коммуникационных технологий / А.А. Поляков и др. – Саратов, 2009. – 272 с.

3. Software Engineering 2004 (SE 2004). Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering. Software Engineering Vol.
http://www.computer.org/portal/cms_docs_ieeecs/education/cc2001/SE2004Volume.pdf

УДК: 681.3:519.79

Г.Л. Баранов, д.т.н.
(ДП "Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління"),
В.І. Тарасюк
(Київська державна академія водного транспорту
ім. Гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Україна),
С.М. Васько
(Національний транспортний університет, Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ СИМВОЛЬНИХ ТЕЙЛОРОВСЬКИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Розроблено метод символьного моделювання руху ВТЗ з використанням типових шаблонів двобічних перетворень академіка Г.Є. Пухова, які забезпечують швидку адаптацію до змін у навколишньому середовищі

Складні динамічні системи (СДС) характеризуються не лише великою розмірністю їх складових, а й насамперед значним варіюванням та зміною функціональної поведінки. У поточних ситуаціях вплив факторів внутрішнього та зовнішнього середовища, складність яких майже необмежена, залежить від змін у силовому та моментному балансі. Вимоги до сучасних систем навігації й управління рухом високошвидкісних транспортних засобів (ВТЗ) зростають [1]. Саме це вимагає оперативно враховувати нові швидкоплинні суттєві обставини впливу різноманітних фізичних об'єктів, тобто своєчасно адаптуватись до реального простору, наявних ресурсних обмежень [2] та збурень навколишнього середовища.

Різноманітне та широке застосування мікроелектроніки та мікропроцесорів як на борту ВТЗ, так і на диспетчерських центрах транспортних інформаційно-управляючих систем (ДЦ ТІУС) здійснюється з урахуванням реальних обмежень на обчислювальну потужність, пропускну здатність апаратури, а також ефективну складність алгоритмів, інформаційно-аналітичного забезпечення (ІАЗ), конкретного програмно-апаратного комплексу (ПАК). Традиційні принципи моделювання ВТЗ шляхом чисельної обробки потоків часових рядів не задовольняють сучасним вимогам щодо гарантування безпеки життя, надійності безаварійного управління ВТЗ, ефективності транспортної роботи в екстремальних умовах [3]. Це наслідок значного зростання часових інтервальних обмежень при великих порядках складності об'єктів.

Обчислювальний інтелект на базі систем комп'ютерної алгебри (СКА) може в більшій мірі підвищувати необхідну ефективність алгоритмів ПАК ВТЗ та ДЦ ТІУС ніж традиційний шлях підвищення швидкодії комп'ютерів разом з зростанням їх вартості для інтелектуальних транспортних систем (ITS) [4].

Розробка методології моделювання руху ПАК ВТЗ, що взаємодіють з ДЦ ТІУС та іншими інтелектуальними агентами системи (IAS) у межах ITS на базі єдиних засобів СКА [2] для прискорення моделювання процесів запобігання аварій.

Функціонування безперервних та дискретних компонентів СДС моделюємо у пам'яті ПАК ВТЗ. Часткові моделі визначені диференціальними, різницевими, алгебраїчними нелінійними системами рівнянь. Визначальні змінні залежать від параметрів простору та часу. Функції-оригінали характеризують дійсні алгебраїчні функції, які єдиним чином дозволяють відображати певну множину точок у просторі існування. Відомі процедури лінеаризації не забезпечують адекватність таких моделей об'єктам, фізичним явищам. Підвищення точності та розширення області моделювання нелінійних процесів й об'єктів запропоновано на основі символьних тейлоровських перетворень [6-7]. За допомогою засобів СКА здійснюємо символьні перетворення з області оригіналу у область алгебраїчних зображень. Функція-зображення є алгебраїчною, але новою функцією, яка залежить від нової змінної у дискретному просторі.

Нова область зображень характеризується функціональною залежністю нових змінних від цілочисельного аргументу $K = 0,1,2,3...N$, що призводить до рекурентних залежностей або ітеративних процедур.

У просторі зображень зберігаємо усі суттєві нелінійності та алгебраїчно розв'язуємо поточну конкретну задачу (ідентифікації, оптимізації, навігації, управління, тощо). Потім зворотнім перетворенням з використанням термінальних значень параметрів, які апаратно (засобами ПАК) вимірюють, отримуємо розв'язки задач у символьній (алгебраїчній) формі у області оригіналу. Отримані нелінійні просторово-часові залежності далі можливо безпосередньо використовувати у експлуатаційних режимах real-time високоточного функціонування СДС з інтервалами прогнозування у прискореному часі.

Сучасні системи управління ВТЗ базуються на методах чисельного розв'язку оперативних задач руху об'єктів в СДС, які охоплюють навколишнє середовище та його стохастичні впливи на контактні зони ВТЗ, включаючи інші рухомі об'єкти у зоні спільного просторово-часового континуума.

В експлуатаційних умовах параметри контактної зони під впливом дії навколишнього середовища суттєво змінюються та варіюються. В наслідок цього виникають відхилення між програмними траєкторіями та фактичним збуреним рухом. Такі відхилення компенсуються системою управління на традиційних принципах автоматичного керування ВТЗ в СДС.

В умовах природної невизначеності стосовно змін параметрів контактної зони (аеродинамічний опір, сили тертя, кути нахилу рельєфу, радіуси поворотів, загрозливе наближення об'єктів та ін.) моделі для розв'язку задач керування стають неадекватними. Тому частіше виникають значні (небажані) відхилення. Своєчасно незавершена процедура адаптації бортових багатофункціональних комплексів (ББК) ВТЗ часто є причиною аварійних подій зі значними збитками.

Повна базова розрахункова модель перехідних процесів має суттєві нелінійності, логіко-динамічні переключення за ситуаціями та багато емпіричних коефіцієнтів, які розраховують за відповідними програмами у режимах on-line.

Суттєве ускладнення розрахункових моделей для ББК приводить до неможливості оперативного їх використання в контурі керування. Обчислювальна складність розв'язку оперативних задач в режимах real-time не повинна перевищувати властивостей ББК та його програмно-апаратного комплексу (ПАК), які гарантують якість керування в наслідок не перевантаження за критеріями пропускної здатності ПАК. Швидкість перетворень вхідних сигналів у вихідні сигнали закону управління робочими органами та відповідними приводами ВТЗ забезпечує ефективність своєчасного маневрування.

Нова парадигма полягає у перетворенні існуючих ББК в прогресивні засоби гарантованого адаптивного управління (ГАУ) ВТЗ. Суттєві обмеження на обчислювальну складність можливо задовольнити шляхом застосування у контурі адаптації символьних перетворень. За рахунок алгебраїзації інформаційно-аналітичного забезпечення (ІАЗ) ПАК оперативно відслідковується адаптивність розрахункових моделей та їх обчислювальна ефективність безпосередньо у режимах real-time ГАУ рухом ВТЗ.

Завдяки символьним перетворенням методи, ІАЗ та засоби ГАУ дозволяють розв'язувати задачі оптимізації руху ВТЗ в СДС за багатьма критеріями з конфліктуючими властивостями. Наприклад. Людино-машинний інтерфейс повинен бути адаптований до конкретного водія та його навичок. Режими роботи двигуна адаптуються до умов транспортної роботи в СДС. Виконавчі органи та силові приводи керування адаптуються до змінних умов довкілля у контактній зоні. Засоби ГАУ ВТЗ адаптуються до змінних умов середовища та транспортного потоку у зоні спільного руху. Загалом планове завдання на транспортне перевезення повинно бути прибутковим в умовах конкуренції.

Єдність символьних перетворень та взаємозалежності між частковими моделями забезпечує наскрізну алгебраїзацію ІАЗ ПАК ВТЗ. В наслідок цього ГАУ рухом ВТЗ отримує синергетичний ефект за необхідними критеріями якості, безпеки руху та економічної ефективності використання витратних ресурсів в складному організаційно-технологічному

комплексі транспортної галузі.

Проблема безпеки руху значно ускладнюється при урахуванні впливу негативних факторів навколишнього середовища, в тому числі і погодно-кліматичних. Тому задачі моделювання складних динамічних об'єктів і фізичних процесів вимагають обробки великих обсягів інформації в реальному і прискореному часі.

Пропонується методика аналітичного моделювання ВТЗ з використанням шаблонів-типових формальних моделей. Для прикладу, розглядається динаміка процесів, які відбуваються під час руху ВТЗ, у підсистемі <двигун – трансмісія>. Дана підсистема є базовою майже для всіх ВТЗ.

Відомо, що універсальних методів розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь не існує [7]. Але метод академіка Пухова Г.Є. [5-7] дозволяє алгебраізувати нелінійну задачу. Метод передбачає перехід від початкових рівнянь в області оригіналу, що характеризують залежності від t-часу, до області зображень. Там усі параметри, що змінюються, залежать від k-цілочисельного аргументу дискретного простору.

Моделювання складних задач більш простими задачами, рішення яких еквівалентно вихідній задачі, називається квазіаналоговим моделюванням [5]. Цей напрямок моделювання також запропонований у працях академіка Пухова Г.Є. Ним же запропоновані Р-перетворення. Даний метод, на відміну від відомих інтегральних перетворень Лапласа і Фур'є, заснований на переводі оригіналів у область зображень за допомогою операції диференціювання. При математичному моделюванні фізичних об'єктів і процесів, що описуються диференціальними й інтегральними рівняннями, Р-перетворення дозволяють замінити операції інтегрування і диференціювання еквівалентними алгебраїчними операціями.

Після аналітичного застосування алгебраїчних методів дослідження стану фізичних об'єктів і процесів у просторі Р-зображень, повертаємось до області оригіналу, де і використовуємо чисельні процедури.

Базові Р-перетворення мають функціональний вигляд [5-7]:

$$X(k)=\underline{x}(t)=\frac{H^k}{k!}\left[\frac{d^k x(t)}{dt^k}\right]_{t=0} \doteq x(t)=\sum_{k=0}^{k=\infty}\left(\frac{t}{H}\right)^k X(k), \qquad (1)$$

де $x(t)$ – оригінал, що являє собою безперервну, диференційовану нескінченне число разів, і обмежену разом із всіма своїми похідними функцію дійсного аргументу t;

$X(k)$ і $\underline{x}(t)$ – рівноцінні позначення Р-зображення, що представляє дискретну (гратчасту) функцію цілочисельного аргументу $k=1, 2, 3, ...$; (далі нижнє підкреслення позначає, що над даною функцією виконуються відповідні Р-перетворення);

H – масштабна постійна, яка має розмірність аргументу t і часто обирається рівною відрізку $0 \le t \le H$, на якому розглядається функція $x(t)$;

$\doteq$ – символ відповідності оригінала $x(t)$ його Р-зображенню у формі $X(k)$.

Р-зображення $X(k)$ відображають рекурентні значення при конкретному обраному аргументі k й тому називаються дискретами. Наприклад, $X(0)$ – нульова дискрета, $X(1)$ – перша дискрета, $X(2)$ – друга дискрета і т. ін. у дискретному спектрі [7].

Вказаний вище підхід дозволив виконати аналітичні перетворення для підсистеми <двигун – трансмісія> ВТЗ. Результати зведено у таблицю відповідностей.

Логічна схема алгоритму з типових шаблонів змінюється подібно ситуації у СДС.

Інтегральні особливості руху ВТЗ полягають у тому, що темп зміни режимів руху залежить від індивідуальних якостей водія. Наприклад, на темп зрушення ВТЗ з місця впливає реакція водія та рух педалей привода муфти зчеплення і подачі палива.

Закони переміщення педалі подачі палива $h(t)$ і переміщення педалі привода муфти зчеплення $H(t)$ є основними: для підсистем <двигун> і <зчеплення>. Вихідним параметром

підсистеми <двигун> є частота обертання колінчатого вала двигуна $\omega_{дв}(t)$ і його крутний момент $M_{дв}^{к}(t)$. Для підсистеми <зчеплення> вихідним параметром є осьова сила нажимного диска $P_{н}(t)$, та момент тертя муфти зчеплення $M_{сц}(t)$. Для підсистеми <двигун–трансмісія> вихідним параметром є крутний момент $M_{к}$ на привідних колесах ВТЗ. Функція $M_{дв}^{к}[\dot{\phi}_{дв}, h(z_{p})]$ є заданою характеристикою двигуна. Залежність переміщення рейки подачі палива від параметра $h_{п}(t)$ повинна бути плавною, монотонною і однозначною. Ця залежність, функція $M_{дв}^{к}[\dot{\phi}_{дв}, h(z_{p})]$ і згадана вище система рівнянь описують залежність сил, які діють на ВТЗ від переміщення $h_{п}(t)$ згідно з законом руху на ділянці ТДК у поточних ситуативних погодних умовах.

Наведена вище комплексна аналітична модель адекватно описує рух ВТЗ по дорозі з плавним рельєфом, тобто в умовах міста чи автострад. При моделюванні руху дорогою із суттєвими нерівностями необхідно мати додаткову інформацію про рельєф дорожньої поверхні такої ділянки ТДК.

Запропонована комплексна модель є основою для створення програмного забезпечення, яке дозволяє у реальному та прискореному часі управляти рухом ВТЗ. У подальшому доцільно реалізувати дану аналітичну модель на звичайних засобах обчислювальної техніки, що не вимагає високої продуктивності для переробки великих обсягів інформації в реальному часі.

Висновки

1. Запропоновані методи символьної комп'ютерної алгебри, які для інтелектуальних транспортних систем (ITS) здатні збільшувати необхідну ефективність алгоритмів ПАК ВТЗ та ДЦ ТІУС, не вимагають підвищення швидкодії комп'ютерів разом з зростанням їх вартості, що здійснюється у випадках традиційних методів моделювання.

2. Наведені приклади двобічних аналітичних перетворень, які забезпечують відповідність між континуальними рівняннями в області оригіналу та дискетами простору станів області зображень, де здійснюються системні погодження варіювання СДС.

Список літератури

1. *Баранов Г.Л.* Структурное моделирование сложных динамических систем / Г.Л. Баранов, А.В. Макаров. – К.: Наукова думка, 1986. – 272с.

2. *Люггер Д.Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / пер. с англ. – М.: изд. дом «Вильямс», 2005, – 864с.

3. *Баранов Г.Л.* Телекомунікаційні технології на транспорті: Навч. посіб. / Г.Л. Баранов, П.Р. Левковець. – К.: НТУ. 2007. – 448 с.

4. *Пржибыл П.* Телематика на транспорте / Пржибыл П., Свитен М.; пер. с чешского С. Бузека, В. Бузковой.; под ред. проф. В.В. Сильянова – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 540с.

5. *Пухов Г.Е.* Преобразования Тейлора и их применение в электротехнике и электронике. / Пухов Г.Е. – К.: Наукова думка, 1978. – 286 с.

6. *Пухов Г.Е.* Дифференциальные преобразования функций и уравнений / Пухов Г.Е. – К.: Наукова думка, 1980. – 419 с.

7. *Пухов Г.Е.* Дифференциальные спектры и модели / Пухов Г.Е. – Киев: Наукова думка, 1990. – 184с.

УДК: 005.311.2:004.94

Ю.В. Задонцев,
нач. відділу маркетингу та технічного розвитку
(Національний авіаційний університет, Україна)

ТЕХНОЛОГІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСІВ ПРОФЕСІЙНОГО НАВЧАННЯ ІТ-ФАХІВЦІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Представлено розробку нової інформаційної технології підтримки процесів професійного навчання ІТ-фахівців промислових підприємств, її архітектуру та інформаційне забезпечення

Перехід національної економіки України на ринкові принципи функціонування та розвитку обумовлює необхідність кардинальних змін у системі управління, в тому числі, у плануванні підготовки фахівців. В умовах колишньої командно-адміністративної системи одним із її наріжних каменів було жорстке директивне планування. Підприємство одержувало від органів державного планування та управління завдання про всі показники діяльності (навіть підготовка кадрів проводилась лише за держзамовленням). Це не дозволяло розробляти оптимальні плани, приймати найкращі рішення, виходячи з реальних локальних умов.

Планування підготовки фахівців з упровадження інформаційних технологій (ІТ) у промислове виробництво з використанням різних форм отримання освіти є новою задачею для промислового виробництва та одним із найважливіших чинників підтримки конкурентоздатності та ліквідності основних активів підприємства (людських ресурсів) на необхідному рівні.

У нових умовах господарювання та переходу до ринкового регулювання підприємство самостійно здійснює весь комплекс планової роботи. Надання самостійності підприємству – це не тільки відмова від повної регламентації зверху всієї його діяльності й надання підприємству широких прав у визначенні та реалізації виробничої програми, шляхів розвитку виробництв, мотивації праці та відповідальності за кінцеві результати господарювання, але й усвідомлення важливості безперервного навчання персоналу. Усе це повинно знайти відображення в планах діяльності підприємства. Відкрита система підприємства як його нова якість в ринкових умовах і пряма залежність від взаємодії попиту та пропозиції обумовлюють необхідність створення системи планування й управління підприємством, здатної швидко та ефективно реагувати на ринкові потреби.

Підготовка фахівців з упровадження ІТ у виробничу діяльність підприємства є складовою субстратегії професійного навчання кадрів та соціального розвитку. Оскільки субстратегія є органічною складовою єдиного цілого – загальної стратегії розвитку підприємства, тому й розробляти та реалізовувати її потрібно як взаємозв'язані, взаємообумовлені та погоджені елементи інтегрованого комплексу планування діяльності підприємства. Таке погодження обумовлює мету розробки адаптивного методу планування підготовки фахівців з упровадження ІТ та інформаційної технології реалізації цього методу.

У доповіді розкривається суть методу, розроблені математичні моделі й результати функціонального та імітаційного моделювання процесів підготовки й перепідготовки ІТ-фахівців в умовах діючих промислових підприємств.

Сукупність отриманих наукових і практичних результатів нової інформаційної технології підтримки процесу планування професійного навчання фахівців базується на поняттях ”інформаційні ресурси” та ”інформаційні процеси”. На рис. 1 подано схему, яка логічно визначає запропоновану інформаційну технологію.

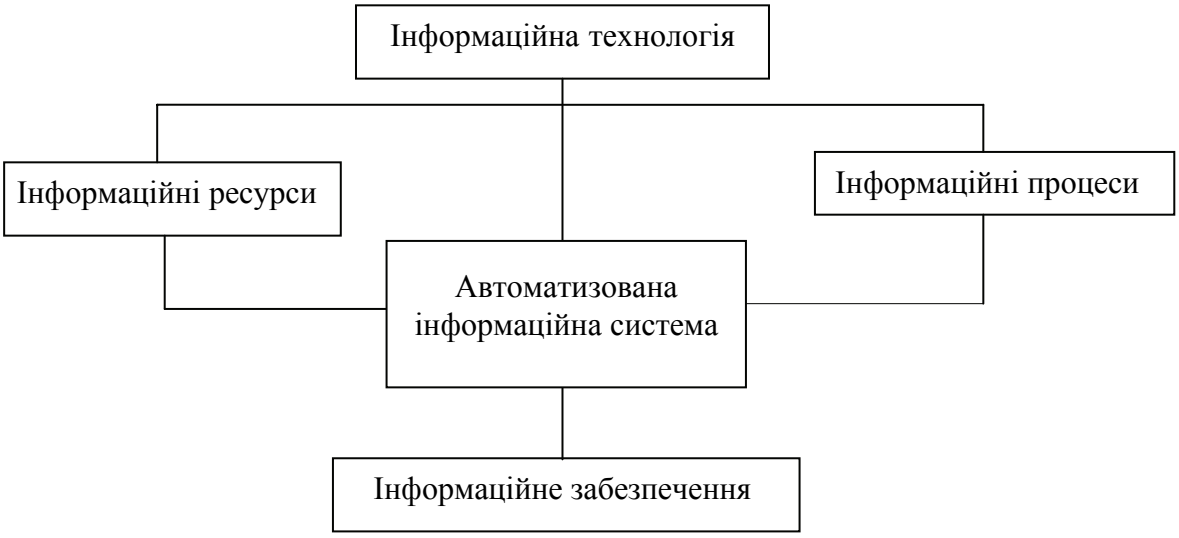


Рис. 1. Схема інформаційної технології

Інформаційні ресурси – це запропоновані в роботі моделі, методи та алгоритми. Інформаційний процес у широкому розумінні – це процес одержання, збереження, перетворення, представлення та передачі інформації, узятий окремо або в сукупності. Зміст і характер інформаційних процесів визначається інформаційною системою «AC_PLAN».

Автоматизована інформаційна система (АІС) являє собою інструмент, що дозволяє відбирати інформаційні ресурси та реалізувати інформаційні процеси. Основу АІС становить комп'ютер з операційною системою, системою управління базами даних і прикладними програмами.

Архітектура інформаційної технології (рис. 2) описує взаємозв'язок запропонованих в роботі теоретичних положень, методів, алгоритмів та прикладних програм інформаційної системи «AC_PLAN».

Основні функції інформаційної системи:

1. Збір даних проводить особа, яка приймає рішення (ЛПР), керуючись програмою введення вихідних даних та програмного модуля.
2. Аналіз даних ґрунтується на використанні сукупності математичних моделей та методів для видобутку інформації з певним чином організованих даних, необхідних для прийняття рішення.
3. Зберігання та пошук інформації реалізується за допомогою бази даних а також системи керування базами даних.

Особа, яка приймає рішення щодо доцільності проведення професійного навчання персоналу організації виконує такі функції:

1. Введення початкових даних, необхідних для проведення автоматичних розрахунків.
2. Синтез плану підготовки згідно з алгоритмом і методикою синтезу плану підготовки фахівців.
3. Прийняття рішення про доцільність проведення підготовки.

Після синтезу плану підготовки (внесення поточних змін до переліку заходів підготовки) варіант плану поступає до блоку аналізу, який шляхом моделювання процесів набуття та втрати рівнів підготовки визначає рівень підготовки наприкінці циклу навчання. Отриманий прогноз рівня підготовки вказує на можливість або неможливість виконання завдань проекту впровадження за таким рівнем та дозволяє виконати автоматичні розрахунки ефективності проекту впровадження ІТ виробничого призначення: $К_{кф}$ – коефіцієнт участі персоналу в упровадженні інформаційної технології по відношенню до участі персоналу консалтингової фірми та показника повернення інвестицій.

Отримані показники ефективності проекту впровадження є підґрунтям для прийняття

рішення про доцільність проведення підготовки.

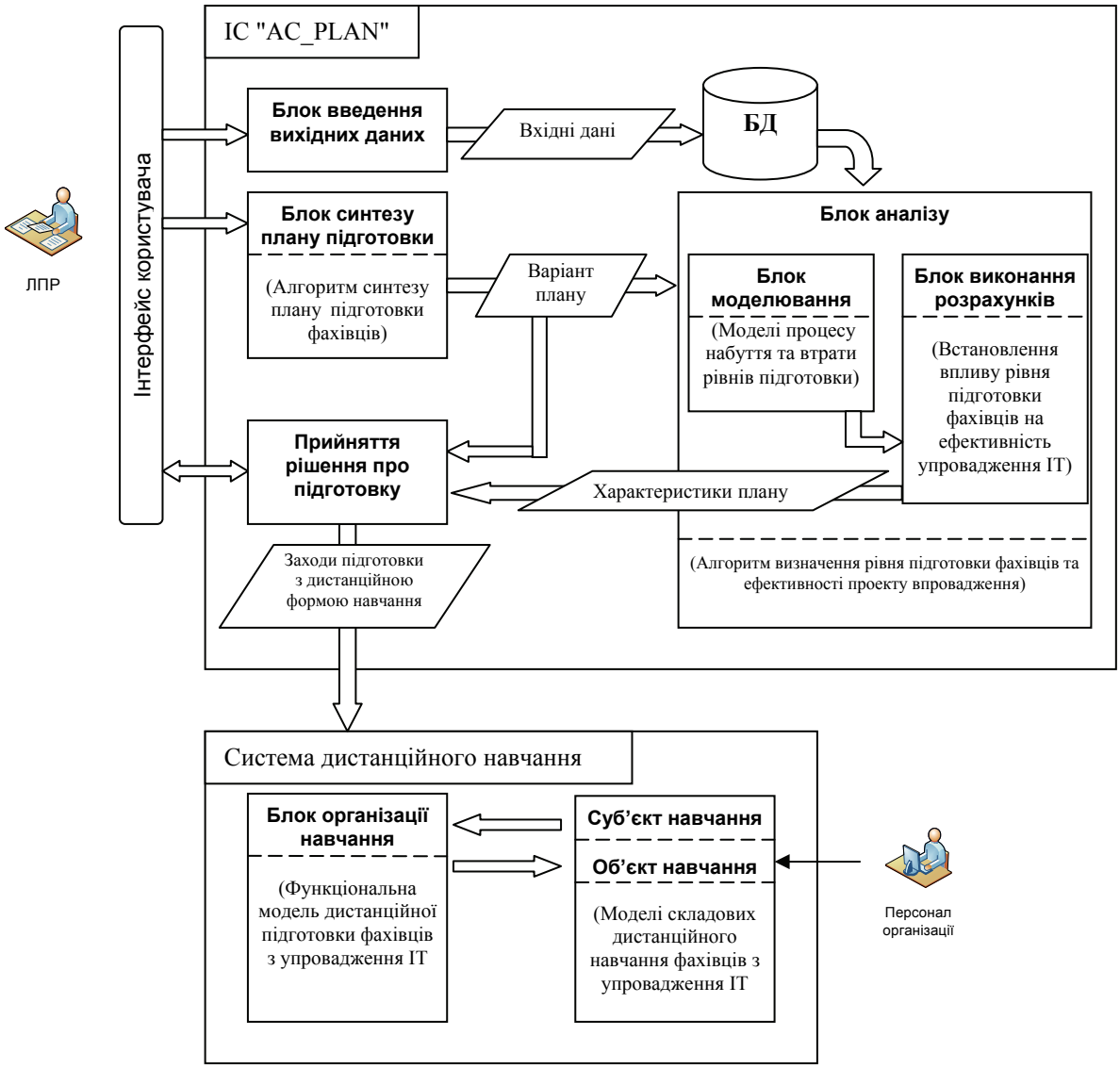


Рис. 2. Архітектура інформаційної технології підтримки процесу планування професійного навчання фахівців з упровадження ІТ виробничого призначення

В якості технологій розробки розподілених програмних додатків обрано технологію .NET компанії Microsoft, яка є однією з найпрогресивніших і з тих, хто продовжує розвиватися. Технологія .NET є нейтральною по відношенню до мов програмування, головне, щоб вони були сумісні з .NET. Виклик функцій середовища .NET можна виконати на багатьох мовах програмування: Visual Basic C#, C++ та ін. Щоб ефективніше використовувати технологію .NET, розробниками були введені нові програмні конструкції. Мовою програмування розробки також вибрано мову фірми Microsoft Visual C#.

Visual C# розроблена як сучасна, повністю об'єктно-орієнтована мова, яка об'єднує кращі можливості C++, Java і Visual Basic та спеціально призначена для написання .NET-програм. Це нова, елегантна мова, мета якої – поєднати простоту Visual Basic з потужністю C++.

Для розробки бази даних обрано реляційну модель як найбільш поширену. Основними сутностями (відношеннями), що описують процес підтримки планування професійного навчання визначені:

1. Захід професійного навчання.

2. Учасник професійного навчання (суб’єкт, об’єкт).
3. Форма навчання (денна, вечірня, дистанційна, самостійна).
4. План (розклад) заходів.

Показники, що використовуються в моделі набуття і втрати рівня підготовки та отримані в результаті формалізації впливу форми навчання на рівень підготовки для використання методики синтезу плану професійного навчання з прогнозом рівня підготовки фахівців використано в якості атрибутів. Отримана логічна реляційна модель даних (рис. 3) аналізувалася на наявність відношень, що потребують нормалізації. Усуваючи неповні функціональні, транзитивні й нетривіальні залежності, забезпечено виключення дублювання даних і можливість виникнення аномалій при виникненні операції поповнення, зміни та вилучення даних із баз даних (БД).

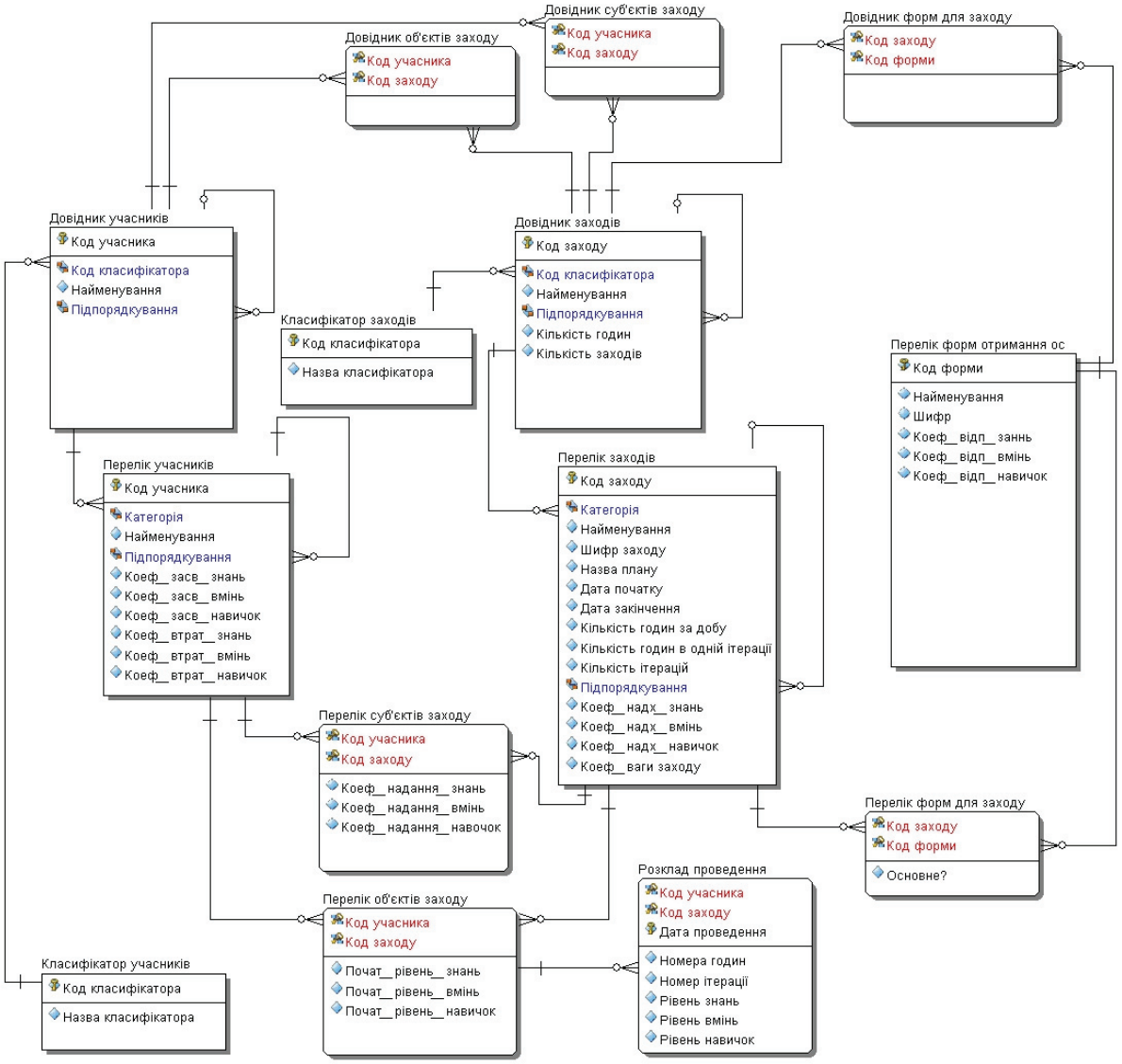


Рис. 3. Логічна модель бази даних для інформаційної системи підтримки процесу планування професійного навчання

Вибір цільової системи управління базами даних (СУБД) полягав у виборі системи, що задовольняє як поточним, так і майбутнім вимогам при оптимальному рівні витрат, які включають придбання СУБД, додаткового апаратного і програмного забезпечення а також витрати, пов'язані з переходом до нової системи і необхідністю перенавчання персоналу. Проаналізувавши можливості СУБД, зроблено висновок, що такі СУБД як MySQL, InterBase прийнятні для вирішення невеликих завдань. Для підтримки середніх і крупних проектів Oracle і MS SQL Server. Враховуючи приведене порівняння СУБД, а також досвід експертів,

MS SQL Server є більш придатними для розробки інформаційної системи підтримки процесу планування професійного навчання фахівців.

Для переходу від логічної моделі даних до фізичної моделі (рис. 4) використовувалась загальна методика:

1. Денормалізація реляційної моделі.

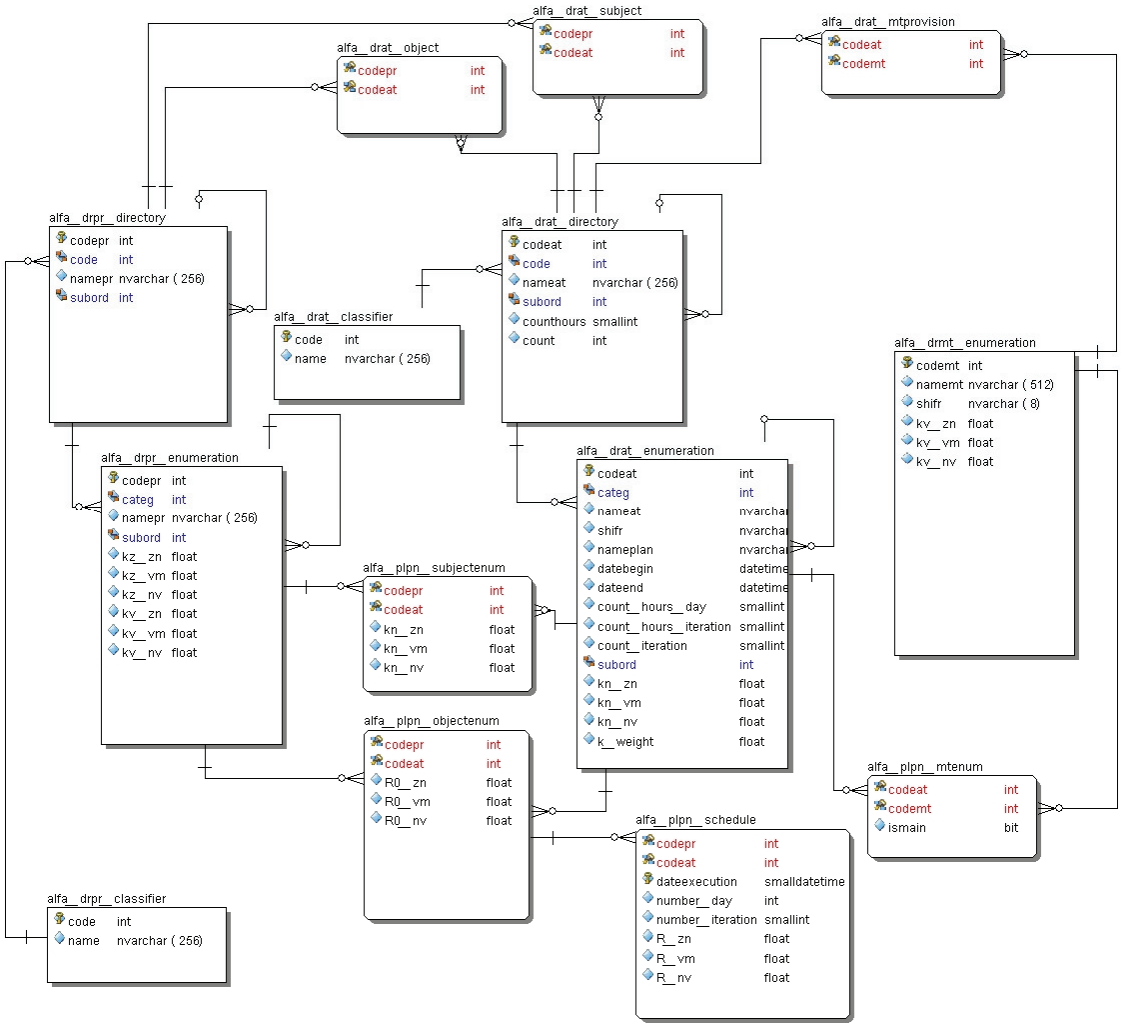


Рис. 4. Фізична модель бази даних розробленої ІТ для СУБД MS SQL SERVER

2. Перетворення реляційної моделі в фізичну модель. Кожне відношення перетворюється на таблицю. Кожен атрибут стає стовбцем таблиці. Первинний ключ відношення стає первинним ключем таблиці. Для стовбців при необхідності задаються діапазони значень.
3. Перейменування таблиць та атрибутів фізичної моделі.
4. Генерація фізичної моделі за допомогою CASE-засобу.
5. Перейменування ключів, посилальних зв'язків.
6. Розробка віртуальних відношень.
7. Написання тригерів, процедур та функцій користувача.

Висновок

Запропонована інформаційна технологія реалізує теоретичні положення, моделі, методи та алгоритми за допомогою розробленої інформаційної системи «AC_PLAN» з метою підтримки процесу планування професійного навчання підготовки фахівців з упровадження ІТ виробничого призначення в промислове виробництво.

УДК 681.516.72:519.6

Г.Ю. Маклаков, д.т.н.
(Государственная летная академия Украины, Украина)
Г.Г. Маклакова, к.т.н.
(Морской гидрофизический институт НАН Украины, Украина)

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕРВИСОВ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Рассмотрены особенности структуры децентрализованной распределенной системы дистанционного обучения (ДРСДО) профессиональной подготовки авиационных специалистов. Описывается принцип построения интеллектуальной системы (ИС) контроля качества информационно-коммуникационных сервисов в ДРСДО. Рассмотрена структура базы знаний ИС.

В целях совершенствования системы профессиональной подготовки авиационных специалистов все большее число образовательных учреждений гражданской авиации и авиационных учебных центров с успехом используют дистанционные образовательные технологии. Основная цель использования таких технологий - предоставление обучающимся возможности освоения учебных программ непосредственно по месту его жительства (работы) на основе современных информационных педагогических технологий при соблюдении ответственности образовательных учреждений за качество подготовки авиационных специалистов.

Задача обеспечения качества обучения является центральной во всех развитых странах. В связи с широким внедрением в учебный процесс дистанционной формы обучения актуальной задачей является разработка адекватной системы оценки качества дистанционного обучения (ДО). Особую важность эта проблема приобретает при использовании технологий ДО применительно к подготовке авиационных специалистов. Традиционные схемы ДО имеют существенный недостаток – при плохой работе сервера существенно ухудшается качество обучения, а при остановке сервера – сам процесс ДО прекращается. Таким образом, при возникновении сбоев в телекоммуникационной среде, качество дистанционного обучения сильно уменьшаеися.

Прогрессивное направление повышения эффективности удаленного обучения – использование децентрализованной распределенной системы ДО (ДРСДО), представляющей собой виртуальную среду, технически реализованную на принципах децентрализации информационных ресурсов [1-3]. Суть такого подхода состоит в том, что структура сети динамически изменяется в зависимости от количества запросов пользователей и наличия свободных преподавателей. Кроме центрального сервера, предусматривается возможность использования локальных серверов в определенных учебных заведениях. Таким образом, появляется возможность рационально использовать оборудование учебных заведений для организации виртуальных лабораторий, в частности, позволяющих студентам удаленно работать на тренажерах.

Недостатком существующих методов оценки качества ДО является отсутствие учета показателей качества телекоммуникационной сети. Для выполнения функций ДО распределенная система должна не только предоставлять пользователю необходимые услуги, но и обеспечи вать их должное качество - «качество обслуживания» (Quality of Service, QoS). Среди стандартов, посвященных качеству обслуживания в электросвязи, ведущее место занимает Рекомендация МСЭ Е.800 [4, 5]. В ней качество обслуживания определяется как "суммарный эффект рабочих характеристик обслуживания, который определяет степень удовлетворенности пользователя данной службой". Именно такой формулировки качества и будем придерживаться в данной работе. Следует отметить, что управление QoS является плохо формализуемой нетривиальной задачей, особенно в ситуации, когда необходимо конфигурирование большого числа очередей на каждом удаленном компьютере и выполнение требований, определяемых пользователем.

Рассмотри основные принципы организации системы анализа и контроля качества телекоммуникационных сервисов в ДРСДО. В основу архитектуры ДРСДО положены идеи, представленные в работе [3]. На рисунке 1 изображена структурная схема ДРСДО.

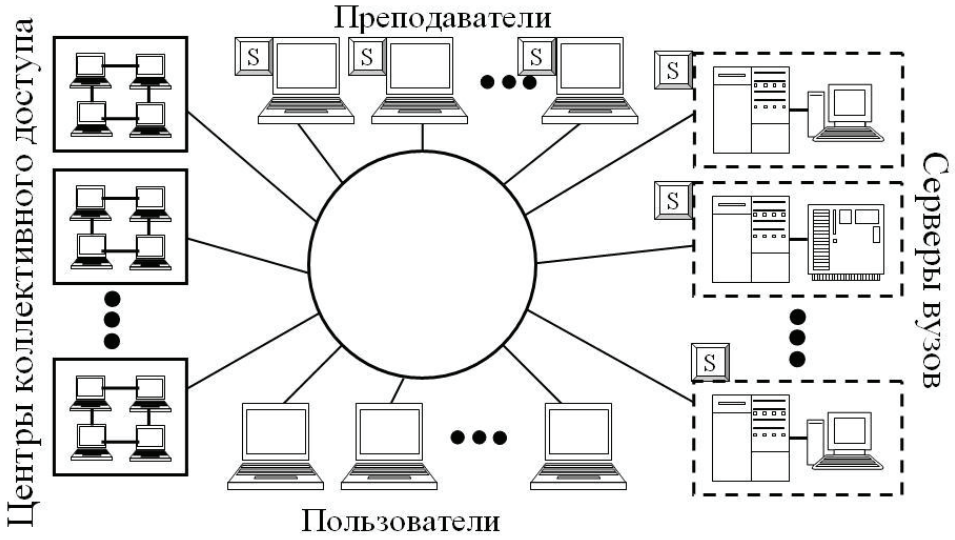


Рис.1 Структурная схема ДРСДО.

Рассмотрим особенности архитектуры РСДО, позволяющей осуществить контроль качества телекоммуникационных услуг при дистанционной форме обучения.

Блоки «Преподаватели» отражают тот факт, что преподаватели могут находятся не в одном определенном месте, как при классической схеме дистанционного обучения (например, в каком-то определенном ВУЗе), а находиться в разных точка города, региона, государства, континента; как в учебном заведении, так и дома.

Блоки «Пользователи» отражают возможность связи с отдельным пользователем по сети Интернет, причем предполагается, что пользователь работает у себя дома. Если у участника РСДО нет возможности работать индивидуально дома за компьютером, тогда он может подключаться к РСДО и выполнять соответствующие задания в центрах коллективного доступа. Роль таких центров могут играть, например, компьютерные клубы, или учебные заведения (школы, институты и т.п.), в которых студент арендует компьютерное время.

Блоки «Серверы ВУЗов» отражают возможность создания локальных серверов в определенных учебных заведениях, которые обладают требуемыми вычислительными ресурсами, например виртуальной лабораторией, для доступа к уникальному промышленному оборудованию, которым располагает данный ВУЗ.

Блок «S» - (Супервайзер ДО) осуществляет координацию работы всей системы, в частности обрабатывает запросы пользователей к вычислительным ресурсам, оптимизирует время выполнения таких запросов, распределяет обучаемых по преподавателям и т.п. Понятие «Супервайзер» – часть управляющей программы, координирующая распределение ресурсов вычислительной системы. В данной работе под этим понятием будем понимать программный комплекс, координирующий распределение ресурсов ДРСДО для контроля качества телекоммуникационных сервисов и автоматического поддержания эффективной работы ДО.

Присутствие неопределенности в процессе принятия решений при совершенствовании качества компьютерной сети не позволяет точно оценить роль всех факторов, влияющих на качество телекоммуникационных услуг. Процесс принятия решения при оценке качества услуг еще осложняется тем, что в настоящее время отсутствуют четко определенные критерии и алгоритмы оценки эффективности ДО. В связи с вышеизложенным было принято решение строить супервайзер на основе теории искусственного интеллекта.

Предлагается систему мониторинга качества телекоммуникационных сервисов ДРСДО реализовать в виде экспертной системы (ЭС), которая за счет изменения конфигурации сети и перераспределения учебного контента обеспечивает предоставление услуг ДО необходимого качества. Блок нечеткого вывода ЭС, используя правила нечетких продукций из базы знаний и необходимые константы из базы данных, реализует нечеткий вывод заключений на основе посылок или условий, представленных в форме нечетких лингвистических высказываний.

Базу знаний ЭС сформирована согласно рекомендациям международного союза электросвязи. Учитывая широкое развитие сетевых систем мультимедиа, в частности – IP-телефонии, и высокую

эффективность таких технологий в ДО [6], особое внимание уделили оценке качества доставки потребителю услуг аудио- и видеоинформации.

В соответствии с рекомендациями Y.1540 [4] будем рассматривать следующие сетевые характеристики, как наиболее важные по степени их влияния на сквозное качество обслуживания, оцениваемое пользователем: производительность сети, надежность сети (сетевых элементов), задержка, вариация задержки (джиттер), потери пакетов.

Основываясь на исследованиях Г.Г. Яновского [9] можно сделать вывод, что разделение ресурсов и процессы управления трафиком должны быть скоординированы в условиях наличия большого числа разнообразных приложений с существенно отличающимися требованиями к рабочим характеристикам сети.

Рекомендация Y.1541 [5], устанавливает соответствие между классами качества обслуживания и приложениями:

- класс 0 – приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, характеризуемые высоким уровнем интерактивности (VoIP, видеоконференции);
- класс 1 – приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, интерактивные (VoIP, видеоконференции);
- класс 2 – транзакции данных, характеризуемые высоким уровнем интерактивности (например, сигнализация);
- класс 3 – транзакции данных, интерактивные;
- класс 4 – приложения, допускающие низкий уровень потерь (короткие транзакции, массивы данных, потоковое видео).

С учетом Рекомендации Y.1541 МСЭ [5] приняты следующие правила продукции, обуславливающие нормы для характеристик сетей IP:

1) ЕСЛИ «Задержка доставки пакета IP» < 100 мск И «Вариация задержки пакета IP» < 50 мск И «Коэффициент потери пакетов IP» < $1\cdot10^{-3}$ И «Коэффициент ошибок пакетов IP» < $1\cdot10^{-4}$ ТО «Класс сети 0»,

2) ЕСЛИ 100 мск < «Задержка доставки пакета IP» < 400 мск И «Вариация задержки пакета IP» < 50 мск И «Коэффициент потери пакетов IP» < $1\cdot10^{-3}$ И «Коэффициент ошибок пакетов IP» < $1\cdot10^{-4}$ ТО «Класс сети 1»,

3) ЕСЛИ «Задержка доставки пакета IP» < 100 мск И «Коэффициент потери пакетов IP» < $1\cdot10^{-3}$ И «Коэффициент ошибок пакетов IP» < $1\cdot10^{-4}$ ТО «Класс сети 2»,

4) ЕСЛИ 100 мск < «Задержка доставки пакета IP» < 400 мск И «Коэффициент потери пакетов IP» < $1\cdot10^{-3}$ И «Коэффициент ошибок пакетов IP» < $1\cdot10^{-4}$ ТО «Класс сети 3»,

5) ЕСЛИ «Задержка доставки пакета IP» < 1000 мск И «Коэффициент потери пакетов IP» < $1\cdot10^{-3}$ И «Коэффициент ошибок пакетов IP» < $1\cdot10^{-4}$ ТО «Класс сети 4».

Качество передачи речи оценивали по следующим параметрам: слышимость собственной речи («эхо»), громкость речи («уровень»), возможность пользователя связываться и разговаривать с другим пользователем в реальном времени («диалог»), чистота и тональность речи («разборчивость»).

Качество IP-сети: максимальный объем пользовательских и служебных данных, которые она способна передать («максимальная пропускная способность»); промежуток времени, требуемый для передачи пакета через сеть («задержка»); изменение задержки пакетов потока в течение сеанса связи («джиттер»); доля пакетов, потерянных во время сеанса связи при передаче через сеть («потеря пакетов») [6].

Постоянный контроль над работой распределенной сети необходим для поддержания ее в работоспособном состоянии. Процесс контроля работы сети обычно делят на два этапа - мониторинг и анализ. На этапе мониторинга выполняется процедура сбора первичных данных о работе сети: статистики о количестве циркулирующих в сети кадров и пакетов различных протоколов, состоянии портов концентраторов, коммутаторов и маршрутизаторов и т. п. Для этой цели используется стандартное программное и аппаратное обеспечение (тестеры, сетевые анализаторы, программные средства мониторинга коммуникационных устройств и т.п.). Этап анализа качества сетевого сервиса, под которым понимается обработка собранной на этапе мониторинга информации, сопоставления ее с данными, полученными ранее, и выработки предположений о возможных причинах замедленной или ненадежной работы сети целесообразно проводить в системе искусственного интеллекта, точнее – экспертной системе [7, 8].

Перечень лингвистических переменных, необходимых для реализации метода экспертного оценивания, приняли исходя из разработанной нами модели оценки качества дистанционного обучения [2]). В качестве примера приведем описание некоторых лингвистических переменных:

- «Уровень чувствительности к сетевой характеристике “полоса пропускания”» = {«Очень низкий», «Низкий», «Средний», «Высокий»};
- «Уровень чувствительности к сетевой характеристике “задержка”» = «Низкий», «Средний», «Высокий»};
- «Уровень чувствительности к сетевой характеристике “потери”» = «Низкий», «Средний», «Высокий»}.

Опытная эксплуатация демонстрационного прототипа ЭС подтвердила правильность выбранного подхода к принципам построения интеллектуальной системы мониторинга качества телекоммуникационных услуг ДРСДО. ЭС была апробирована в вузах Украины и Болгарии (технический университет Варна, Шуменский университет).

Выводы

Один из эффективных путей повышения качества обучения и повышения квалификации специалистов при работе со сложными системами (авиация, морской транспорт, атомные электростанции и т.п.) является использование децентрализованных систем ДО. При оценке качества ДО необходимо учитывать качество телекоммуникационных сервисов. Для объективного контроля и оперативного управления качеством телекоммуникационных сервисов целесообразно использовать системы искусственного интеллекта. Основное достоинство интеллектуальной системы контроля качества – гибкость и легкость перестройки под различные критерии и системы оценки качества.

Список литературы

1. *Маклаков Г.Ю.* Организация за подготовката на кадри по електронно управление на основата на децентрализирана разпределена система за дистанционно обучение II Международна научна конференция «Е-управление» (17-19 юни 2010г.): Материали за конферен-ции. Созопол. България.: Издателство на ТУ-София. 2010.- С.169-172.

2. *Маклаков Г.Ю., Кожаев Е.А., Маклакова Г.Г.* Модель оценки качества дистанционного обучения. – Материалы III международной конференции „Стратегия качества в промышленности и образовании”. 1-8 июня 2007 г. Варна. Болгария. Т.2. Технический университет. Варна. 2007. С. 560-563.

3. *Маклакова Г.Г.* Основные принципы создания распределенной системы дистанционного обучения на базе виртуальной среды // Управляющие системы и машины.– 2008.– №1.– С.76-83.

4. *МСЭ-Т Recommendation Y.1540*. IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters // December, 2002

5. *МСЭ-Т Recommendation Y.1541*. Network Performance Objectives for IP-Based Services // May, 2002.

6. *Маклаков Г.Ю.,* Използване на VOIP-технологии при обучение по чужд език. В.Търново. България. Издателство ФАБЕР. 2009. С.76.

7. *Маклаков Г.Ю., Маклакова Г.Г.* Интелектуална система на анализа качествата на телекоммуникационните услуги в системата на дистанционното обучение. Сборник резюмета. Т. 1. Трета национална конференция с международно участие по електронното обучение във висшето образование 15-17 май 2009 г. Свищтов, България. Академично издателство «Ценов», Свищтов, 2009. С.137-140.

8. *Маклаков Г.Ю., Маклакова Г.Г.* Основные принципы построения интеллектуальной системы мониторинга качества дистанционного обучения. Компютърни науки и технологии. Година VI. Брой 1/2008. ТУ- Варна. С.78-83.

9. *Яновский Г.Г.* Качество обслуживания в сетях IP // Вестник связи. – 2008. – №1. – С. 1–16.

УДК 005.311.2:004.94

В.В. Трейтяк, к.т.н.
((Національний авіаційний університет, Україна))

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ТА ОЦІНКИ ВИРОБНИЧИХ ЗАМОВЛЕНЬ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

У матеріалах роботи розглянуто формалізований опис технології інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень по виробничим замовленням, використання якої забезпечує автоматизацію процесу аналізу та оцінки замовлень

Жорсткі вимоги промислового ринку та світова економічна криза значно посилили конкуренцію серед машинобудівних підприємств України, орієнтованих сьогодні на одиничне, дрібносерійне та позаказне виробництво. Одним з основних напрямків підвищення конкурентоспроможності продукції керівники підприємств вбачають у автоматизації управління окремими виробничими процесами підготовки виробництва та самого виробництва. Упровадження на промислових підприємствах сучасних інтегрованих автоматизованих систем (ІАС) виробничого призначення (ERP, PDM, CRM та ін.) дозволяє підвищити ефективність виробництва в цілому. Проте, деякі з процесів, що відбуваються на підприємстві й досі не автоматизовані. У першу чергу, це стосується процесів прийняття управлінських рішень по виробничим замовленням, які надходять на підприємство. Значних результатів у вирішенні цієї задачі досягнуто закордонними розробниками ІАС, проте, для машинобудівних підприємств України та СНД властива своя специфіка процесів життєвого циклу виробів. Це призводить до того, що закордонні розробки не мають ефективних механізмів формалізації та алгоритмізації процесів обробки й управління проектними, виробничими та плановими даними, необхідними для інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень по виробничим замовленням. Тому, існує нагальна потреба в розробці методів і засобів, які б дозволили оперативно та достовірно приймати рішення в процесі аналізу та оцінки виробничих замовлень.

На машинобудівних підприємствах України, таких як ВАТ «Мотор Січ» та ВАТ «Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе» проведено аналіз існуючих процесів обробки виробничих даних по замовленню та проаналізовано сам процес оцінки замовлення. Виявлені недоліки дозволили сформулювати основні проблемні задачі, розв’язанню яких і присвячено подальші дослідження. Під час першого етапу наукових досліджень було виявлено та формалізовано взаємозв’язки між проектними, виробничими та плановими даними, тобто даними, обробка яких здійснюється під час аналізу та оцінки замовлення. Основна складність цього етапу полягала в тому, що по-перше – ці дані слабо структуровані та слабо формалізовані, а по-друге – процес аналізу та оцінки замовлення потребує обробки даних з різних структурних підрозділів і служб підприємства. Як правило, достовірність та оперативність цих даних не відповідає сучасним вимогам функціонування підприємства. Для формалізації взаємозв’язку даних було розроблено інформаційні моделі. Так, у процесі аналізу та оцінки виробничого замовлення визначено матеріальні ресурси, потрібні для виготовлення виробів. Для визначення необхідних матеріальних ресурсів *(L)*, потрібні вхідні дані по матеріаломісткості *(G)*, трудомісткості *(T)*, технологічній оснастці *(Tos)*, виробу *(P)*, наявному на підприємстві обладнанню *(O)* та енергоспоживанню *(E)*. Формальну модель *(M)* взаємозв’язку цих даних по визначенню необхідних матеріальних ресурсів можна представити таким чином:

$$M = \left\{ f : G \times P \times O \times Tos \times T \times E \to L \right\}.$$

Отримана формальна модель *(M)* взаємозв’язку даних по матеріаломісткості, трудомісткості, технологічній оснастці, виробу, обладнанню та енергоспоживанню є моделлю, яка формується відображенням декартового добутку цих множин на множину даних по матеріальним ресурсам.

Використовуючи формалізовані взаємозв'язки даних і функціональне моделювання інструментальними засобами ARIS eEPC та ARIS Simulation відповідно до методології ARIS було побудовано функціональні моделі процесів отримання виробничих даних, необхідних в процесі аналізу та оцінки замовлення. Кожна функціональна модель відображає не лише процедури процесу обробки даних, а й структурні підрозділи та служби підприємства, задіяні в цьому процесі. Результати проведеного імітаційного моделювання дозволили визначити час виконання кожного процесу та його слабкі місця. Тобто, якщо на якомусь з етапів процесу не вистачає фахівців, то відбувається затримка всього процесу, яка чітко відображається на результатах моделювання. На рис. 1 представлено узагальнену функціональну модель процесу отримання виробничих даних для аналізу та оцінки замовлення.

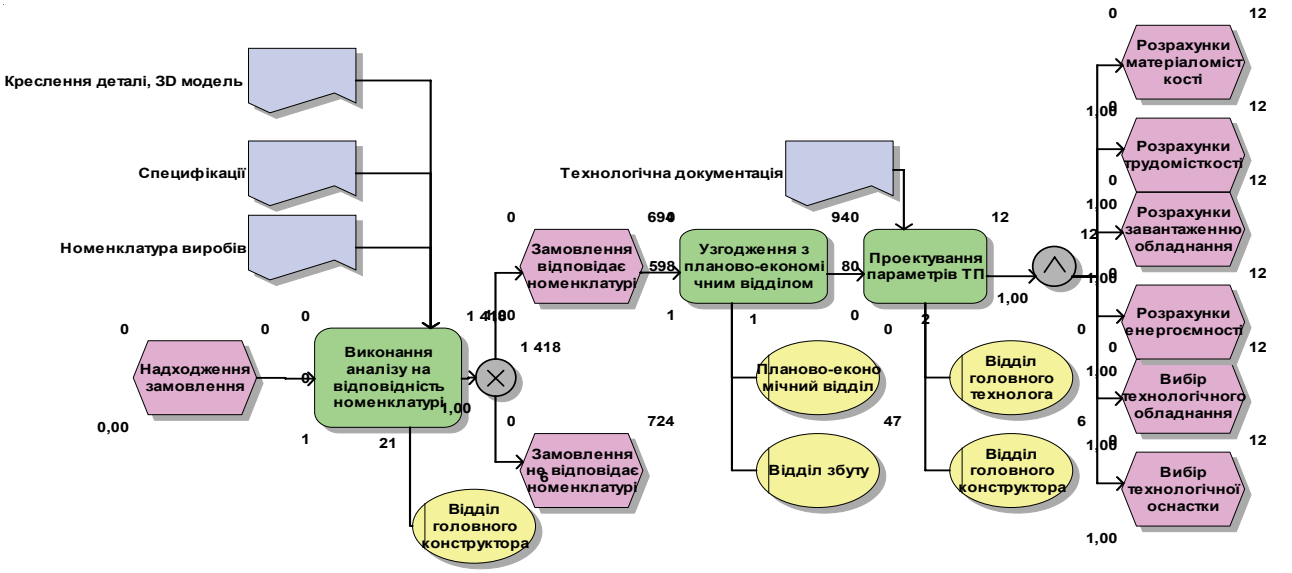


Рис. 1. Узагальнена функціональна модель процесу отримання виробничих даних

На основі проведеного аналізу існуючих процесів оцінки замовлення і розроблених функціональних та інформаційних моделей, запропоновано новий метод аналізу та оцінки виробничого замовлення. На відміну від існуючих (традиційних) методів оцінки замовлення, використання розробленого методу дозволяє визначати не лише технічну спроможність підприємства по виготовленню виробів за замовленням, а й необхідні виробничі ресурси для виконання замовлення. Однією з переваг використання методу при визначенні ресурсів є узгодження з даними оперативно-календарного планування, що дає змогу ефективно використовувати наявні на підприємстві трудові та матеріальні ресурси. Складовою частиною методу аналізу та оцінки виробничого замовлення є розроблений метод параметричного корегування технологічного процесу (ТП).

Після встановлення можливих варіантів технологічного обладнання для ТП згідно з цим методом відбувається визначення оптимального варіанту технологічного обладнання. Метод параметричного корегування ТП передбачає використання адитивного критерію, який об'єднує всі вхідні параметри ТП в одну цільову функцію, тобто

$$Fc(d) = \left(k_1 \cdot f(z(d)) + k_2 \cdot f(e(d)) + k_3 \cdot f(c(d))\right) + k_4 \cdot f(t(d)) + k_5 \cdot f(x(d)),$$

де d – множина обладнання; $k_1,...,k_5$ – вагові коефіцієнти, які відображають значимість критеріїв; ($f(z(d))$ – оцінка перемінних витрат d-ї множини обладнання; ($f(e(d))$ – експертна оцінка рівня складності наладки d-ї множини технологічного обладнання; ($f(c\ (d))$ – оцінка вартості технологічної оснастки d-ї множини обладнання; ($f(t(d))$ – оцінка вільної виробничої потужності d-ї множини обладнання; ($f(x\ (d))$ – оцінка продуктивності d-ї множини обладнання.

Для кожного варіанту технологічного обладнання розраховується своя цільова функція та кількість виробів, яку можна виготовити на даному обладнання. Обладнання з найнижчим

розрахунковим значенням цільової функції та найвищим розрахунковим значенням кількості виробів є пріоритетним при виборі.

У процесі аналізу та оцінки виробничого замовлення визначається не лише технічна спроможність та необхідні ресурси, а й фінансові показники від можливого виконання замовлення. Мета визначення фінансових результатів від майбутньої діяльності полягає в оцінці величини прибутків (збитків) від реалізації продукції. Вибір та використання методу маржинального доходу теж обґрунтовано. В основу цього методу покладено ділення виробничих витрат та витрат по збуту залежно від зміни об'єму діяльності підприємства на змінні (пропорційні) та постійні. У рамках методу величину виторгу від реалізації виробів зіставляють зі змінними витратами по даним виробам. Різниця цих величин по кожному виробу виражає долю цього виробу в покритті постійних витрат виробництва та показує ступінь його участі в досягненні прибутків. Розрахунок проводився по значенню відносного маржинального доходу*(Av)*. Він показує долю маржинального доходу у вартості продукції і має такий вигляд:

$$\mathrm{A}v = \frac{\sum_{j=1}^{n} \left(S_j - PC_j\right) \cdot Q_j}{\sum_{j=1}^{n} S_j \cdot Q_j},$$

де j – кількість контрактів n-х видів продукції, PC – перемінні витрати, S – ціна виробів по замовленню; Q – об'єм продажу.

Залежно від величини відносного маржинального доходу формується рейтинг виробів. Замовлення з найвищим розрахунковим значенням відносного маржинального доходу виробу знаходиться у верхніх рядках рейтингу та є максимально вигідним для виконання на підприємстві.

Для використання розроблених інформаційних і функціональних моделей, методів і відповідних алгоритмів, розроблено автоматизовану підсистему «Замовлення». Відповідні програмні модулі підсистеми автоматизують процеси обробки даних та забезпечують інформаційну підтримку прийняття рішень по виробничим замовленням. Після впровадження розробленої підсистеми «Замовлення» запропоновано свою трьохрівневу архітектуру реалізації розробленої інформаційної технології (рис. 2), яка передбачає окрім сервера баз даних виділення сервера додатків, що акумулює в собі основну частину бізнес-логіки системи.

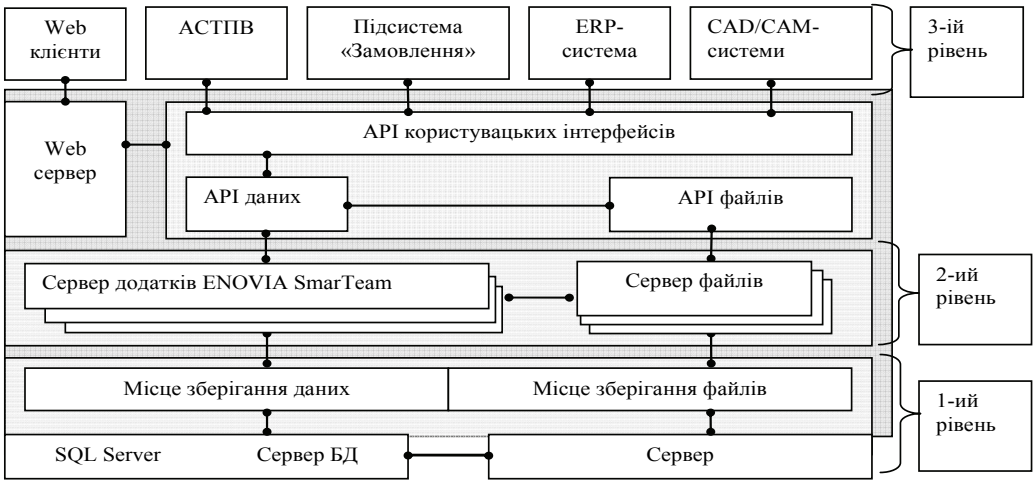


Рис. 2. Структурна схема трьохрівневої архітектури використання розробленої інформаційної технології на промисловому підприємстві

В залежності від запропонованих сервером додатків функціональність виконання бізнес-логіки може бути розділена між сервером додатків та функціонально навантаженим

клієнтським програмним забезпеченням, яке здійснює доступ до ресурсів системи (у тому числі бізнес-логіки) за допомогою інтернет- чи інтранет мереж.

Також запропоновано методику автоматизованого аналізу та оцінки виробничого замовлення, представлену у вигляді узагальненого алгоритму на рис. 3.

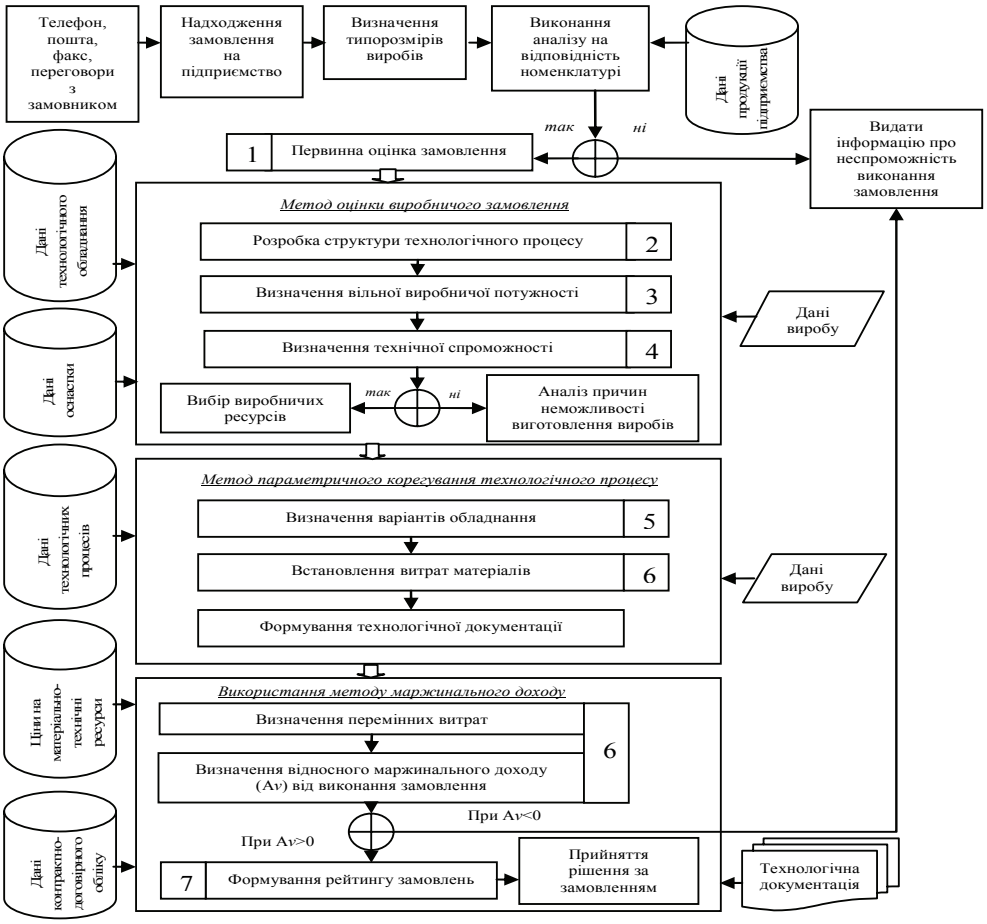


Рис. 3. Алгоритм методики автоматизованого аналізу та оцінки виробничого замовлення

Отже, створено послідовність дій у визначенні технічної спроможності підприємства по виготовленню виробів, необхідних для цього виробничих ресурсів та фінансових показників від можливого виконання замовлення.

Висновок

Запропонована методика й підсистема інформаційної підтримки процесу аналізу та оцінки виробничого замовлення розширюють функціональні можливості сучасних ІАС виробничого призначення завдяки інтеграції та спільному використанню в середовищі ІАС проектних, виробничих і планових даних при прийнятті управлінських рішень з прийому й виготовлення виробів за замовленням.

УДК 005.311.2:004.94

Ю.В. Власенко, н.с., Р.Н. Лелюх
(Национальный авиационный университет, Украина)

МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА УЗЛОВ САМОЛЁТА В CAD/CAM/CAE СИСТЕМЕ CATIA V6

Рассмотрена общая методика расчета прочности деталей авиационной техники на примере элементов узла шасси самолета

Проектирование узлов самолёта – сложная конструкторская задача, которая требует больших знаний и опыта работы, а в XXI веке и умение работать в различных автоматизированных системах проектирования – CAD системах. С развитием информационных технологий, CAD системы вытесняются CAD/CAM/CAE системами, с помощью которых возможно не только спроектировать узел, а и провести различные инженерные расчёты и написать технологические процессы для его изготовления. Всё это требует дополнительных знаний и умений работы в этих системах. Для решения различных задач, необходимо представлять последовательность их решения и умение использовать инструменты, с помощью которых они реализуются. Для построения геометрической модели узлов самолёта, инженерного анализа этих самых узлов, и написания технологических процессов для их изготовления, существуют определённые рекомендации, методики и приоритеты использования тех или инструментов. Рассмотрим одну из методик решения инженерных задач с использованием CAD/CAM/CAE системы CATIA v6 и на её примере рассчитаем элемент узла шасси самолёта.

Методика решения задачи инженерного анализа в CAD/CAM/CAE системе CATIA v6 включает следующие этапы:

1 Основные допущения.

1.1 Выбор типа анализа.

На этом этапе необходимо определить, какие типы расчётов требуется использовать для решения поставленной задачи. Это могут быть различные расчёты, такие как частотный анализ, тепловой, статический расчёт, определение устойчивости, нелинейный анализ и т.д.

1.2 Выбор контактной модели.

В системе CAD/CAM/CAE CATIA v6 есть возможность реализовать вышеупомянутые типы анализа как для отдельной детали какого-либо узла самолёта, так и для сборки всего узла в целом. Поэтому определим назначение расчёта в плане контактной модели.

1.3 Выбор типа элементов.

На этом этапе анализируется тип элементов, используемых в расчёте, твердотельные или поверхностные (2D элементы, оболочковые элементы). Это определяет скорость расчёта и точность полученных результатов.

2 Препроцессинг.

2.1 Создание геометрической модели анализируемого узла.

В зависимости от типа рассчитываемого узла самолёта, используются те или иные группы модулей для построения его геометрической модели. Для проектирования твердотельных элементов необходимо использовать такую группу модулей как Mechanical Design, то есть машиностроительное проектирование. С их помощью создаётся геометрическая модель изделия. При построении геометрической модели используем параметры, определяющие форму и геометрию проектируемого изделия. На основе результатов анализа параметры геометрической модели могут быть оптимизированы.

2.2 Задание свойств материала изделия.

На этом этапе необходимо задать физические свойства материалов, из которых будет изготовлена рассчитываемая деталь либо узел. При этом если рассчитывается весь узел, можно отдельно задать свойства материала для каждой детали узла. Есть возможность

выбирать типы материалов, которые есть в стандартной библиотеке и базируются на ГОСТ, либо создавать свои материалы и вручную задавать свойства. В зависимости от типа расчёта используются основные физические свойства (предел прочности, коэффициент упругости) либо специфические, такие как теплопроводность, коэффициент теплового расширения и т.д. Свойства материала могут быть заданы как в виде констант, так и в виде зависимостей от других расчётных параметров. В случае выполнения нелинейного анализа может быть учтена модель разрушения материала.

2.3 Генерация расчётной сетки конечных элементов.

С помощью специализированого модуля для генерации сетки Advanced Meshing Tools необходимо сгенерировать сетку для расчётов детали. От типа и метода построения сетки зависит точность расчётов и время, за которое они будут произведены. Следует учесть, что сетка с большим количеством расчётных узлов позволяет находить более точное решение, но увеличивает расчетное время. При генерации сетки могут быть учтены дополнительные условия работы детали, например, болтовые соединения, посадка с натягом, сварочные соединения детали. При этом нагрузки сетки одной детали, будут передаваться на узлы сетки другой детали.

2.4 Закрепление и нагружение детали (узла) конструкции.

На этом этапе происходит закрепление и нагружение детали (узла) конструкции в местах контакта с остальными элементами конструкции. Применяются сосредоточенные или распределённые силы, постоянные или же изменяющиеся по поверхности приложения, вес конструкции и крутящие моменты. Нагрузка может быть определена в виде предварительной деформации детали. Для анализа сборки возможно применение условий, определяющих переменный контакт между телами (нелинейная постановка). При решении связанных задач (напряженное состояние при тепловой нагрузке) силовое воздействие может передаваться из одного расчёта в другой.

2.5 Выбор расчётных параметров.

К числу рассчитываемых по умолчанию значений напряжений и деформаций могут быть дополнительно определены другие элементы, участвующие в расчётах, например, относительное удлинение.

3 Расчёт.

Фаза непосредственного решения поставленной задачи анализа для получения конечного результата. В случае если расчёт требует значительных вычислительных ресурсов (для сложных задач) поддерживается распределённое вычисление и приостановка расчёта с сохранением промежуточных результатов. Встроенный решатель в специальных случаях может быть дополнен или расширен дополнительным решателем, определённым пользователем.

4 Постпроцессинг.

4.1 Просмотр результатов анализа.

На этом этапе происходит просмотр результатов анализа, которыми могут быть различные эпюры, графики. Для упрощения анализа результатов могут быть введены специальные критерии – проверки, определяемые автоматически. На основе проверки результатов составляется сводный отчёт.

Рассмотрим пример решение инженерной задачи о напряженно деформированном состоянии детали качалки шасси в условиях пребывания самолёта в ангаре либо на аэродроме в статически неподвижном состоянии. Взлётный вес самолёта составляет 40 т. На самолёте установлено трехопорное шасси с носовой опорой и двумя основными опорами, расположенными вблизи центра массы по разные стороны от плоскости симметрии самолёта. Нагрузка, действующая на основные опоры шасси, составляет 346 kH. Поэтому на каждую основную стойку шасси приходится нагрузка, равная 173 kH. Схема сопряжения деталей шасси самолёта изображена на рис.1.

Сначала произведём основные допущения, выберем тип расчёта. Для решения задачи о напряженно деформированном состоянии детали качалки шасси самолёта необходимо

использовать средства статического анализа, которые реализованы в модуле Generative Structural Analysis. В задании сказано, что анализировать нужно только отдельный элемент шасси, поэтому контактной моделью является деталь. Необходимо учесть, что качалка шасси является твердотельным элементом.

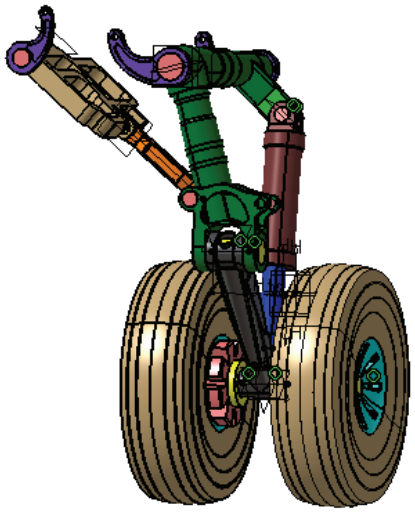


Рис.1. Геометрическая модель шасси самолёта

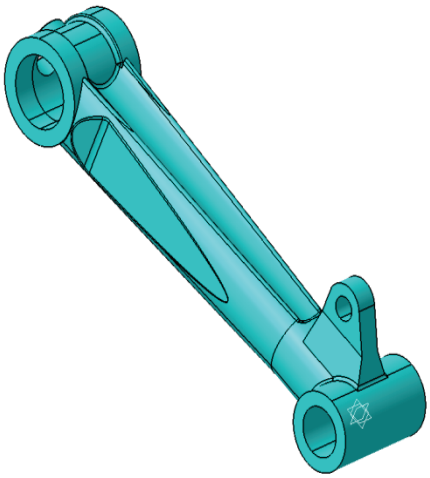


Рис.2. Геометрическая модель качалки шасси

Геометрическую модель изделия создаём с помощью модуля машиностроительного проектирования Part Design (рис. 2). Далее задаём свойства материала командой “Назначение материалов”. Качалка шасси будет изготовлена из титана, поэтому в стандартных библиотеках выбираем материал “Титан”. Следующим шагом генерируем сетку с помощью модуля Advanced Meshing Tools (рис. 3). При генерации сетки конечных элементов задаем характерный размер элемента равный 3 мм. Детализация узлов сетки в местах резких переходов поверхностей выполняется автоматически.

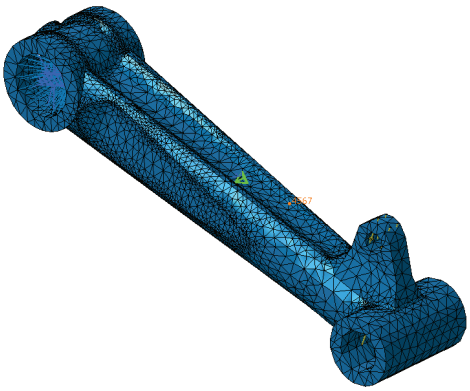


Рис.3. Расчётная сетка качалки шасси самолёта

После генерации сетки определяем закрепление модели. Закрепление выбрано вдоль оси большего отверстия. Определяем численные значения нагрузок, действующие на качалку шасси самолёта в местах контакта с остальными силовыми элементами конструкции, а именно – гидроцилиндром и двумя осями вращения. Для этого представим силовую схему нагружения в виде балки (рис. 4), один конец которой закреплён шарнирно в точке А, а на противоположном конце балки действуют две силы, F_1 и F_2, соответственно в точках D и B.

Составим систему уравнений сил действующих на ось OX и на ось OУ, а также уравнение суммы моментов сил действующих относительно точки А:

$$\begin{cases} F(OX): & R_x - F_{2x} - F_{1x} = 0 \\ F(OY): & R_y - F_{1y} + F_{2y} = 0 \\ M(\mathrm{A}): & F_{1y} * CD - F_{1y} * AD + F_{2y} * AB = 0 \end{cases}$$

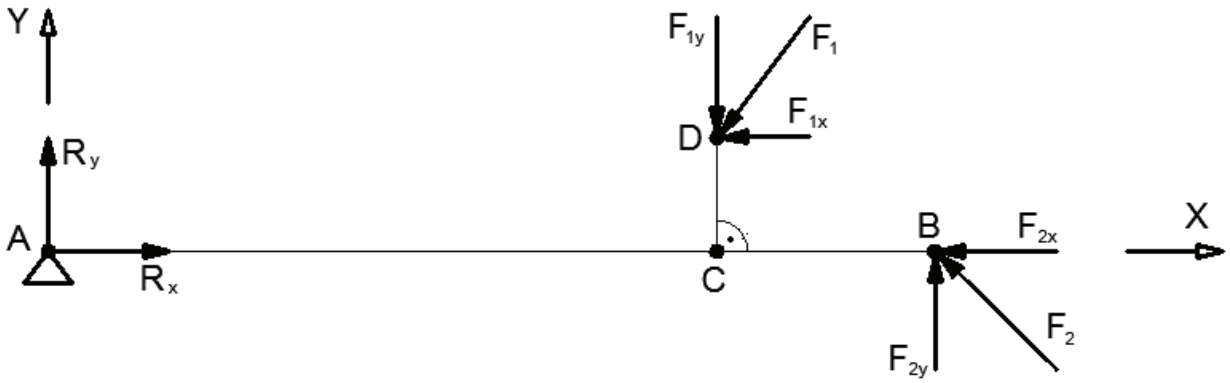


Рис. 4. Схема нагрузки и закрепления качалки шасси самолёта

На основе решения системы уравнений были определены значения приложенной нагрузки и выполнен статический анализ. Результаты расчётов напряженно деформированного состояния приведены на рисунках 5 и 6.

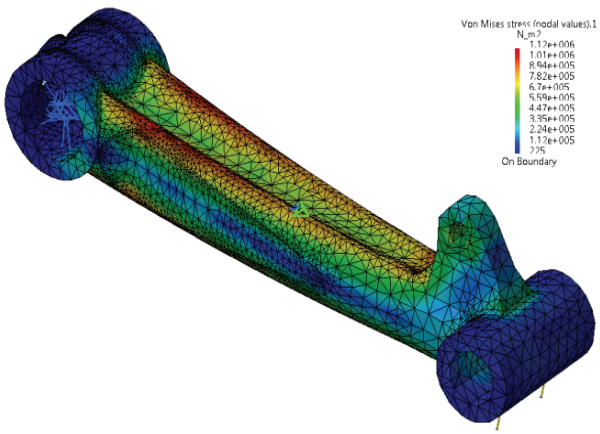


Рис. 5. Распределение напряжений в деформируемой детали

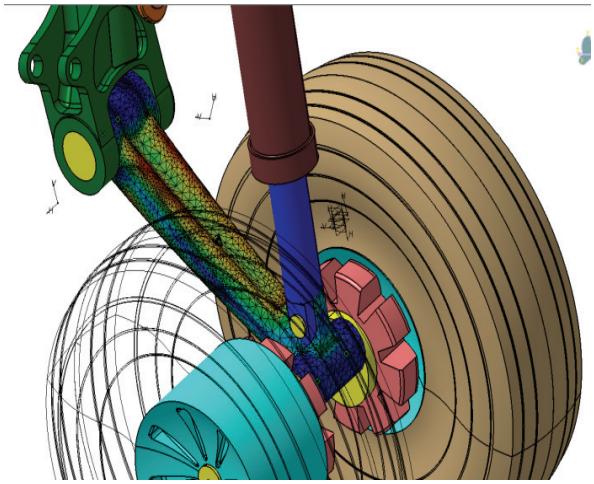


Рис. 6. Нагруженная деталь в сборке

Выводы

Приведенная методика позволяет выполнять расчёты прочности элементов конструкции летательных аппаратов в процессе проектирования. Указанные этапы выполнения анализа являются базовыми и в каждом конкретном случае могут быть уточнены.

УДК 005.311.2:004.94

В.Ю. Кудряков, м.н.с.
(Національний авіаційний університет, Україна)

ІНФОРМАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ВИРОБНИЧИХ ЗАМОВЛЕНЬ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Розглянуто вимоги до математичних моделей, що описують процеси управління життєвим циклом виробів промислових підприємств, які використовують при розробці автоматизованих інформаційних систем. Розробку такої моделі показано на прикладі інформаційно-статистичної моделі «оцінки виробничих замовлень промислових підприємств»

Вітчизняні промислові підприємства в даний час знаходяться у нелегкому становищі: високий рівень зносу основних фондів, брак або відсутність інвестицій для його відновлення, низька ефективність виробництва, застарілі технології, брак висококваліфікованих фахівців. Найважче доводиться підприємствам, що займаються наукоємним виробництвом. Це зв'язано і з високою вартістю устаткування, і з серйозними вимогами до кваліфікації персоналу, і з сильною конкуренцією з боку зарубіжних підприємств. Така ситуація робить актуальним питання підвищення ефективності виробництва і забезпечення конкурентоспроможності підприємств на внутрішньому і зовнішньому ринках. Для вирішення цих проблем останнім часом все частіше використовують методи реінжинірингу бізнес-процесів підприємства. Правильно проведений реінжиніринг бізнес-процесів дозволяє на десятки відсотків збільшити ефективність роботи промислових підприємств, але часто проекти реінжинірингу не досягають запланованих результатів із-за помилок на етапі моделювання бізнес-процессів підприємства. Розглянемо можливості вирішення цих проблем, виходячи з досвіду розвинених країн та можливостей сучасних інформаційних технологій.

Ефективне використання виробничого потенціалу підприємства вимагає залучення сучасних методів управління. Промислове підприємство повинне реалізовувати повний життєвий цикл (ЖЦ) виробу, що вимагає використання комплексного автоматизованого управління всією сукупністю процесів ЖЦ продукції. Використання інформаційних технологій для створення інтегрованого середовища виробу і застосування процесного підходу для моделювання ЖЦ дає можливість розробити комплексну систему управління технічною підготовкою виробництва за допомогою моделювання процесів ЖЦ виробу.

Для вирішення завдань комплексного управління процесами ЖЦ в рамках промислового підприємства необхідно розробити математичну модель, що описує процеси ЖЦ і методи оптимізації, які дозволяють здійснити підтримку прийняття рішення. Така математична модель повинна складатися з сукупності моделей, кожна з яких відповідає певному процесу ЖЦ наукоємної продукції.

Кожна модель певною мірою відображає взаємодію трьох основних складових: цілей, ресурсів, необхідного результату. Моделі розташовані одна за одною, відповідно до нормативної документації, що регламентує послідовність процесів, які вони відображають. На вхід моделі поступають результуючі дані від попередньої моделі. Під процесом розуміємо послідовність дій, пов'язаних з функціонуванням підприємства, включаючи опис технологічних процесів виготовлення виробу. Процес, перетворюючи якийсь об'єкт праці, має вхід і вихід, де вхід процесу – сировина або інформація, вихід – продукція, яка є результатом процесу. Застосування процесного підходу для вирішення завдань планування дає можливість побудувати блокову модель підприємства, де використовується багаторівневе дерево процесів, в якому процеси вищих рівнів деталізують процесами нижчих, причому структури процесів однакові для всіх рівнів. Концептуальна модель

підприємства представляється у вигляді схеми процесів з їх цілями, зв'язками між ними, інформаційними і матеріальними потоками.

Процес в системі має свій контур управління, що теж є процесом. Виходить вкладена модель. Кожен *i*-й процес в системі є закінченою ланкою ЖЦ і має вхідні і вихідні потоки, по яких здійснюється управління *i*+1 процесом. Досягнувши мети процесів нижнього *i* рівня, досягається мета процесу *i*+1 рівня. На кожному рівні вирішується завдання прийняття рішення. Така структура дозволяє систематизувати будь-які етапи ЖЦ, оскільки вкладеною моделлю процесів можна описати як елементарний, так і складний процес, що складається з безлічі підпроцесів (наприклад, технологічна підготовка виробництва).

Процеси досягнення цілей мають бути представленні у вигляді сімейства траєкторій, орієнтованих на зовнішні потреби. Траєкторії містять послідовність характерних станів і робіт, що зв'язують їх. На вхід кожної моделі процесу поступає інформація (норми витрат, об'єм виконання), на виході – розрахунок сукупних витрат і часу, необхідних для виконання процесу в заданому об'ємі. Керуючий вплив для кожної моделі розглядається як зміна значень компонент в порівнянні з тими, що були визначені на попередній моделі.

При такому підході завдання управління виробництвом зводиться до завдання прийняття портфеля замовлень на плановий період $[t_0; t_T]$ і завданню розподілу виробничого ресурсу на плановий період для прийнятого портфеля замовлень. Початок планового періоду – t_0, закінчення - t_T.

Виходячи з вимог до системи моделей, розглянемо модель «оцінки виробничих замовлень промислових підприємств». Така модель представлена набором імовірних моделей суб'єктів ринку (постачальники, замовники) і динаміки цін на товари і послуги в сфері промислового підприємства.

Поведінка кожного *s*-го суб'єкта полягає в укладанні договорів на придбання, постачання певного *m* -го виду продукції у момент часу *t* в об'ємі $V=\{v_{\text{smt}}\}$ за ціною $C=\{c_{\text{smt}}\}$ за одиницю продукції (де $m=1\ldots M$; *M*- кількість одиниць готової продукції підприємства і сировини, необхідної для виконання основної діяльності, $s=\overline{1,...,S}$; *S* - кількість суб'єктів ринку. Модель суб'єкта ринку можна записати таким чином:

$$\psi_S = \langle \{v_{st}\}; \{c_{st}\}; \{t_t\} \rangle, \quad s=\overline{1,...,S_m}, \tag{1.1}$$

де S_m - кількість суб'єктів ринку, що мають відношення до продукції $m=\overline{1,...,M}$.

Модель суб'єкта ринку представлена в (1.1) кортежем, де $\{t_t\}$ – множина календарних дат, в які *s*-й суб'єкт укладав договори на постачання, придбання *m*-го продукту в об'ємі $\{V_{mt}\}$ за ціною $\{C_{\text{mt}}\}$ за одиницю товару. Для множини $\{t_t\}$ характерно, що часовий індекс $t_1 \le t \le t_2$, де t_1 – індекс дати ($t_1=1$) , з якою в системі є інформація о *s*-м суб'єктові, t_2 - індекс дати планового періоду ($t_2=t_T$, де t_T – закінчення планового періоду). Основною метою моделі «оцінки виробничих замовлень промислових підприємств» є здобуття прогнозу за договори, які розміщені, але ще не реалізовані $t > t_2$. Для цього в кортеж (1.1) необхідно додати множину статистики, що дозволяє обчислити надійність η_s по попередньому періоду поведінки *s*-го суб'єкта. Імовірнісна складова η_s показує вірогідність успішного завершення договору з боку *s*-го підприємства (своєчасна оплата або постачання). Знаходження η_s здійснюється по формулі

$$\eta_S(t) = \left(\sum_{t=t_1}^{t_T} \sum_{m=1}^{M} n_{mt} \right) \Big/ \left(\sum_{t=t_1}^{t_0} \sum_{m=1}^{M} \mathrm{n}^0_{\text{mt}} \right); \quad 0 \le \eta_S(t) \le 1, \tag{1.2}$$

де t - індекс поточної дати з множини $\{t_t\}$. Надійність s-го партнера розраховується відношенням успішно завершених договорів до загальної кількості. Множини $\{n_{mt}\}$ і $\{n^0_{mt}\}$– булеві матриці: n_{mt} =1, якщо s-й партнер виконав зобов'язання за договором на m-й товар в момент часу t, n_{mt} =0 в протилежному випадку; n^0_{mt}=1, якщо договір мав місце на m-й товар в момент часу t, n^0_{mt}=0 в протилежному випадку. Кортеж (1.1) для s-го суб'єкта зовнішнього середовища, доповнений надійністю, виглядатиме таким чином:

$$\psi_s = \left\langle \{v_{mt}\}; \{c_{mt}\}; \{t_t\}; \{n_{mt}\}; \{n^0_{mt}\}; \eta(t_0) \right\rangle \tag{1.3}$$

Кортеж ψ_s є інформаційною моделлю s-го суб'єкта. Множина суб'єктів складає зовнішнє середовище $\Psi = \{\psi_s\}$:

$$\Psi = \left\langle \{v_{smt}\}; \{c_{smt}\}; \{t_{smt}\}; \eta_s(t_0) \right\rangle, \quad m = \overline{1,...,M}, \; t_1 \le t \le t_T, \; s = \overline{1,...,S} \tag{1.4}$$

Кортеж (1.4) є інформаційною моделлю «оцінки виробничих замовлень промислових підприємств», що використовується в роботі. Модель дозволить отримати множину $\Omega' = \{\psi_m\}$ замовлень, де m-й виріб з номенклатури підприємства $m = \overline{1,...,M}$, виріб з номенклатури підприємства $[t_0; t_T]$. Одне замовлення характеризуємо кортежем:

$$\psi_m = \left\langle (v_{st}); \{c_{st}\}; \{t_t\}; \eta_s \right\rangle, \; t_{t_0} \le t_t \le t_T. \tag{1.5}$$

Портфель замовлень описуємо кортежем:

$$\Omega' = \left\langle \{v_{smt}\}; \{c_{smt}\}; \{t_{smt}\}; \eta_s(t) \right\rangle, \; m = \overline{1,...,M}, \; t_{t1} \le t_t \le t_T, \; s = \overline{1,...,S}. \tag{1.6}$$

Кількість елементів в множині Ω' дорівнює Z. В множину $\Omega' \subset \Psi$, для отримання множини Ω' з множини Ψ, необхідно ввести такі обмеження:

$$\psi_m \in \Omega', \text{ якщо } t_{t_0} < t_t \le t_T \text{ при } 0 < t \le T, \tag{1.7}$$

де t_{t_0} - поточна дата, початковий час планування; t_T - кінцевий час планування періоду, відповідно 0 і T індекси для елементів з множини часу $\{t_m\}$, для $m \in M$. Умови (1.7) включають лише ті замовлення ψ_m, які по часу необхідної реалізації входять в плановий період. Тут відкидаються варіанти, які вже є статистикою (за минулі періоди).

$$\psi_m \in \Omega', \text{ якщо } t_{t_0} + t_{T_i} < t_{mt} \le t_T \text{ при } t_0 + T_i < t \le T, \tag{1.8}$$

де t_{T_i} – час планований для виконання i-го замовлення.

Умови (1.8) конкретизують умови (1.7) і вимагають, щоб час замовлення був більше запланованого часу, потрібного для його виконання t_{T_i} - розраховується по моделі внутрішнього середовища або визначається з раніше придбаного досвіду (статистика виконання замовлень). Для виключення з розгляду заздалегідь неоптимальних варіантів введемо вимогу про міру інформованості підприємства про суб'єкта s:

$$\psi_m \in \Omega', \text{ якщо для } s\exists \sum_{m=1}^{M} \sum_{t=t_0}^{t_T} n^0_{mst} > k, \tag{1.9}$$

де k – деяка константа. Константа показує міру інформованості про s-го партнера. При завданні k можна прибрати варіанти, в яких необхідно співробітничати з маловідомими партнерами.

$$\psi_m = \Omega', \text{ якщо для } s\exists \eta_s(t_0) > \delta, \tag{1.10}$$

де $0 \le \delta \le 1$ константа, що показує надійність s-го партнера на початок планового періоду. При використанні критерію (1.10) є можливість відмовитися від замовлень ненадійних клієнтів. Підмножина $\Omega' \subset \Psi$ є портфелем замовлень для підприємства на плановий період. Обмеження (1.7), (1.8) є необхідними умовами входження ψ_m в множину Ω'. Виконання умов (1.9) та (1.10) не є обов'язковим.

Таким чином, модель «зовнішнього середовища» має вигляд:

$$\begin{cases} \Psi = \{\{v_{smt}\}; \{c_{smt}\}; \{t_{smt}\}; \eta_s(t_0)\}; \\ \eta_s(\tau_0) = \dfrac{\sum_{m=1}^{Ms} \sum_{t=1}^{t'} k_{mt}}{k_S^0} - \textit{надійність суб'єкта } s, \quad k_S^0 = const, M_s \in M; \\ 0 \le \eta_s \le 1; \\ k_{smt} = \begin{cases} 0, & \textit{якщо договір був зірван}, \\ 1, & \textit{якщо договір реалізован}; \end{cases} \\ t_{smt_1} \le t_{smt} \le t_{smT} \\ t_1 \le t' \le T, t_{smt'} = t_0; \\ t_1 - \textit{індекс діючого моменту планування}; \\ s = \overline{1..S}, m = \overline{1..M}, t = \overline{1..T}. \end{cases} \tag{1.11}$$

Висновок

Як показує використання інформаційно-статистичної моделі «оцінки виробничих замовлень промислових підприємств» (1.11), побудованої для знаходження множини замовлень $\Omega' = \{\psi_m\}$ на плановий період [t0; tT], застосування процесного підходу для моделювання процесів управління життєвого циклу виробів дає можливість підвищити ефективність виробництва, зменшити затрати ресурсів і часу та забезпечити конкурентоспроможність промислових підприємств на внутрішньому й зовнішньому ринках.

Список літератури

1. *Капустин Н.М., Кузнецов П.М., Схиртладзе А.Г. и др.; Под ред. Н.М. Капустина.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении. – М.: Высш. шк., 2004. – 415 с.

2. *Томашевский В.М.* Моделирование систем. – СПб.: Изд. группа BHV, 2004. – 352 с.

3. *Павленко П.М.* Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 280 с.

4. *Репин С.В., Рулис К.В., Зазыкин А.В., Ховалыг Н.К.* Разработка информационных баз техники для использования в автоматизированной системе управления техническим обслуживанием и ремонтом строительных машин. Международная электронная библиотека (электронный ресурс: interlibrary.narod.ru). – 2007. – 12 с.

УДК: 005.311.2:004.94

А.І. Мужик, м.н.с.,
(Національний авіаційний університет, Україна)

РОЗРОБКА ФОРМАЛЬНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОННИМИ РЕСУРСАМИ ІНТЕГРОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Представлено формальну модель системи управління електронними ресурсами як основу для побудови системи організації інтеграційної взаємодії різнорідних інформаційних автоматизованих систем підприємства

Аналіз предметної області являє собою вид наукової діяльності, внаслідок чого будується інтерпретаційна модель предметних знань. У процесі аналізу предметні знання поділяються на інваріантні та прагматичні, концептуальні складові яких є онтологічними знаннями предметної області [1].

Проведений аналіз літератури щодо штучного інтелекту показав, що на даний час існує велика кількість визначень поняття онтології, деякі з яких суперечать один одному [2-6]. Практично всі запропоновані моделі онтологій складаються з концептів (поняття, сутності, класи, категорії), властивостей концептів (слоти, атрибути, ролі), відношень між концептами (зв'язки, залежності, функції) та додаткових обмежень (визначаються аксіомами, в деяких парадигмах фасетами). Враховуючи вище зазначене визначимо поняття онтології як формальний, явний опис понять предметної області (об'єктів) та процесів взаємодії між об'єктами, що описують властивості та атрибути об'єктів.

Для розробки онтології предметної області електронних ресурсів використаємо загальний підхід до побудови онтологічної бази знань на основі системно-онтологічного аналізу предметної області, запропонований А.В. Палагіним та Н.Г. Петренком [1].

Відповідно до цього підходу онтологія предметної області складається з онтології об'єктів та онтології процесів:

$$O = \left\langle O^o, O^p \right\rangle,$$

де O^o — онтологія множини об'єктів (понять, концептів) предметної області, яка розглядається як ієрархічна структура класів, підкласів та елементів класів; O^p — онтологія множини процесів предметної області, яка розглядається як ієрархічна структура процесів, функцій, дій та операцій.

У результаті аналізу предметної області електронних ресурсів було виділено такі поняття: інформаційна система (ІС), інтеграція ІС, об'єкт, клас об'єктів, метадані, відношення між об'єктами, група об'єктів, електронний ресурс (ЕР), метадані ЕР, група метаданих ЕР, склад ЕР, маршрут ЕР, бізнес-процес, завдання, функція, процес, користувач, право, роль, папка, закладка.

Для побудови онтології предметної області досліджень необхідно, насамперед, дати визначення виділених понять та побудувати їх формальну модель.

Під інформаційною системою (ІС) розуміють множину пов'язаних різними відношеннями ресурсів, які описують певні сутності (об'єкти, факти або поняття) [5, 6]. ІС можна представити як множину $\{r_i\}_{i\in\chi}$ пов'язаних між собою ресурсів:

$$is = \left\langle \{r_i\}_{i\in\chi} \right\rangle = \left\langle R_\chi \right\rangle,$$

де $\chi \subset \{uid\}$ підмножина унікальних ідентифікаторів.

У такому визначенні ІС нічого не сказано про природу або структуру ресурсів, йдеться лише про наявність абстрактних зв'язків, які об'єднують їх в ситему, дозволяючи говорити про таку сукупність як одне ціле. Очевидно, до класу систем, визначених таким чином,

попадає велика кількість об'єктів різної природи, наприклад, веб-сайти або програми бухгалтерського обліку.

Насамперед, необхідно зауважити, що поняття ресурсу носить занадто загальний характер і тому основним об'єктов маніпуляції ІС є частковий випадок ресурса – електронний ресурс (ЕР). На цьому етапі визначимо електронний ресурс e як ресурс, що має структуру та є відображенням певної інформації про реальний світ.

ЕР повинні мати ряд переваг, порівняно з ресурсами іншої природи, оскільки, як правило, володіють автоматизованими засобами каталогізації, пушуку та зміни. Наприклад, ID3-теги в файлах mp3-формату, електронні документи.

Управління великою кількістю ЕР кожним окремо є вкрай не ефективним. Тому потрібно виділити підклас інформаційних систем, в якому операції можливо буде здійснювати з групами ЕР. Один з найкращих підходів до створення ІС основано на понятті колекції. Колекцією називають множину ЕР, яка має однакову структуру та описує одну й ту саму сутність[6].

Однією з головних ознак ІС є існування засобів ведення каталогів ЕР, що дозволяє реалізувати функції ефективного пошуку та класифікації. Для організації каталогу ЕР ІС використовують поняття метаінформації або метаданих ЕР.

Раніше електронний ресурс було визначено, як ресурс, що має структуру та володіє інформацією. Структура ЕР задається набором елементів, між якими можуть буди задані відношення. Структура ЕР в ІС повинна описуватись його метаданими.

Отже, з урахуванням вищезазначеного, перейдемо до опису формальної моделі ІС та приведемо декілька визначень.

Визначення 1. **Скриптом** назвемо функцію $s: A \to D$, де A — деяка параметризація множини ЕР даної колекції. Кожному елементу $\alpha \in A$ зіставляє ЕР $e = s(\alpha)$, структура якого ідентична структурі інших ЕР даної колекції, а наповнення визначається аргументом, який передається цій функції.

Позначимо множину всіх ЕР ІС:

$$E_X = \{e_i\}_{i \in X} \subset E,$$

де $X \subset \{uid\}$, E — множина всіх ЕР. Визначимо **колекцію** ЕР γ, як множину:

$$K_\gamma = \{e \in E : \exists \alpha \in A^n, s_\gamma(\alpha) = e\}, \gamma \in G,$$

де $\alpha = \{\alpha_1, ..., \alpha_n\} \in A^n$ є кортежем з n параметрів, які визначають ЕР в даній колекції, A^n — декартовий добуток з n просторів значень всіх параметрів. Функція $s_\gamma : A \to D$ є скрипт, який відображає кортеж параметрів α в ЕР колекції. G — множина колекцій ІС, кожній колекції γ однозначно відповідає скрипт s_γ.

Тепер можемо визначити **інформаційну систему колекційного типу** як інформаційну систему, що складається з колекцій ЕР:

$$is_k = \langle G, A^n, S \rangle \sim \langle D_x \rangle,$$

де $S = \{s_\gamma\}_{\gamma \in G}$ — множина скриптів.

Визначення 2. Форматом φ називають контекстно-вільну граматику (записану, наприклад, у вигляді БНФ), яка задає множину образів ЕР (або, іншими словами, мова образів ЕР) L_φ.

Визначення 3. Образом ЕР в форматі φ називається послідовність символів $e^\varphi \in L_\varphi$, яка задається трійкою: структура, наповнення, формат.

Визначення. Внутрішнє представлення ЕР — це образ ЕР в форматі φ_{int}. Відповідно, мова образів L_φ називається мовою внутрішнього представлення ЕР.

Визначення 4. Кортеж-функція — це функція $f_c : A^n \to L_{\varphi_{\text{int}}}$, яка повертає кортеж параметрів у внутрішньому представленні ЕР.

Визначення 5. Формат-функція — це функція $f_f = L_{\varphi_{\text{int}}} \to L_\varphi$, яка повертає образ ЕР по його внутрішньому представленні.

Таким чином, враховуючи вище зазначене, можна стверджувати що образ ЕР в форматі φ є $e_\varphi = f_f(f_c(\alpha))$ і задається трійкою: f_c, α, f_f.

Визначення 6. Системою управління електронними ресурсами (СУЕР) називається п'ятірка:

$$is_{mser} = \left\langle G, F_c, F_f, \Phi, A^n \right\rangle,$$

де $F_c = \left\{ f_{c\gamma} \right\}_{\gamma \in G}$ — кортеж-функції, $F_f = \left\{ f_{f\gamma,\varphi} \right\}_{\gamma \in G, \varphi \in \Phi}$ — формат-функції, Φ — кінцева множина допустимих форматів ЕР. Основне призначення СУЕР — отримання та предворення ЕР в деякій множині допустимих форматів ЕР. Отримання або перетворення ЕР з колекції $\gamma \in G$, по заданому кортежу параметрів $\alpha \in \text{A}$ в форматі φ забезпечується за допомогою композиції перетворень $f_{f\gamma,\varphi} \circ f_{f\gamma}(\alpha)$. Отриману в результаті такої композиції функцію $f_{\gamma,\varphi}(\alpha) = f_{f\gamma,\varphi} \circ f_{f\gamma}(\alpha)$ назвемо функцією перетворення ЕР.

Розглянемо формат функцію f_f, яка визначає процедуру складення внутрішнього представлення ЕР по заданому кортежу параметрів. На практиці таку функцію можливо реалізувати за допомогою програмних алгоритмів, які формують образ ЕР як послідовність даних визначеного формату.

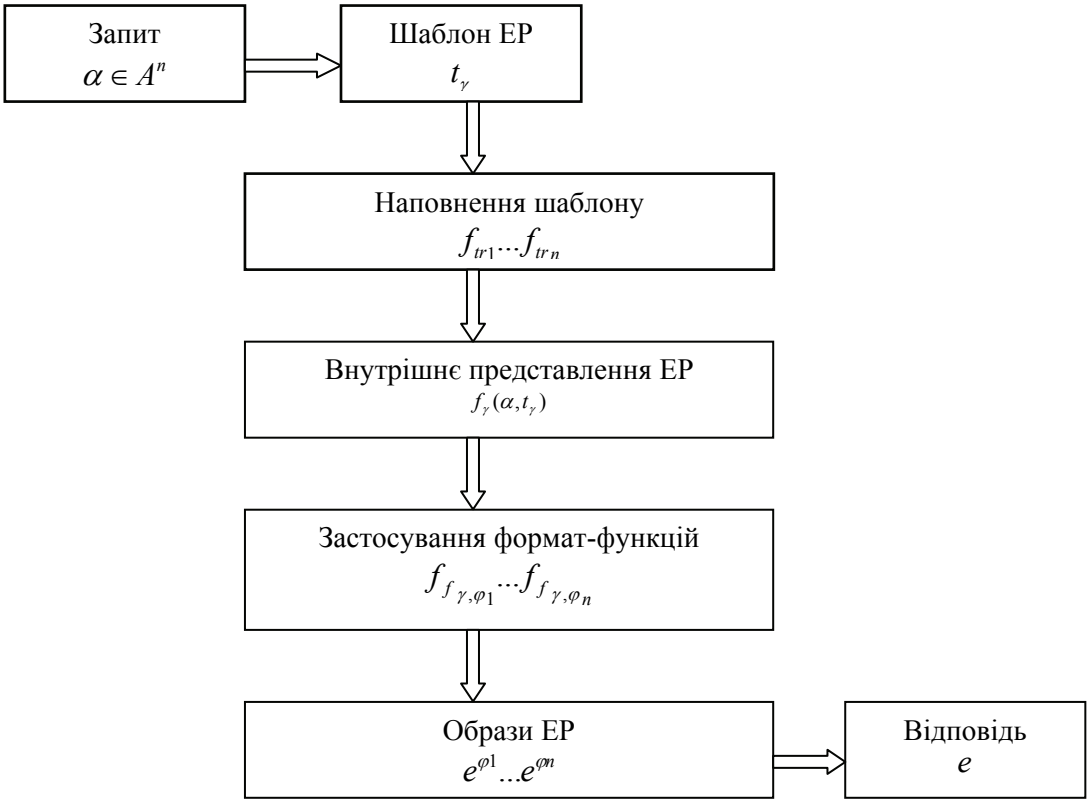


Рис 1. Модель перетворення електронних ресурсів

Визначення 7. Для кожної колекції $\gamma \in G$ в мові представлення ЕР виділемо елемент $t_\gamma \in L_{\varphi_{\text{int}}}$, який назвемо шаблоном ЕР.

Визначення 8. Перетворювач — це функція $f_{tr} = A^n \times L_{\varphi_{\text{int}}} \to L_{\varphi_{\text{int}}}$.

Визначення 9. Формат-функцією називають таку функцію

$f_\gamma(\alpha, t_\gamma) = f_{tr\,n}(\alpha, f_{tr\,n-1}(\alpha, ... f_{tr1}(\alpha, t_\gamma)...))$, де $f_f(\alpha) = f_\gamma(\alpha, t_\gamma), \forall \alpha \in A^n$.

Шаблон ЕР описує базову структуру ЕР, яка обробляється та заповнюється реальними даними форм-функцією. Формат-функція являється композицією перетворювачів, кожен з яких є незалежним перетворенням шаблону ЕР. Для перетворення внутрішнього представлення ЕР перетворювач використовує параметри запиту α та інструкції — фрагменти шаблону ЕР, які описують специфікацію діяльності того чи іншого перетворювача.

На рис.1 зображено запропоновану модель перетворення ЕР. При надходженні запитів система обирає відповідний шаблон ЕР t_γ, набір перетворювачів $f_{tr1} ... f_{tr\,n}$ та формат-функцію $f_{f_{\gamma,\varphi}}$ для необхідного формату ЕР φ. На першому етапі до шаблону застосовуються перетворювачі, які змінюють його, наповнюючи специфічною для даного ЕР інформацією. У результаті буде отримано образ ЕР у форматі φ_{int}, який відповідно до обраної формат-функції буде перетворено в необхідний формат φ.

Висновки

Результатом роботи є формальна модель системи управління електронними ресурсами як основа для розробки системи інтеграційної взаємодії інформаційних систем. Основною властивістю СУЕР є можливість виступити в ролі об'єднуючої ланки, забезпечити інтеграцію різнорідних систем в єдиному інформаційному просторі як за рахунок можливості реєстрації довільних електронних ресурсів, які зберігаються у зовнішніх інформаційних системах, в СУЕР з наступною їх участю в бізнес-процесах, так і за рахунок надання можливості обміну будь-якими даними по різним протоколам.

Позитивними характеристиками запропонованої моделі СУЕР є:

– існування декількох форматів представлення ЕР робить СУЕР доступною для великої кількості різних типів клієнтів без потреби дублювання описання колекцій ЕР;

– формат-функції є єдиним інформаційним джерелом, яке має мінімальну надлишковість, що полегшує їх модифікацію;

– добавлення нового формату представлення ЕР заключається у визначенні форматів для відповідних колекцій СУЕР.

Список літератури

1. *Палагин А.В.,Петренко Н.Г.* Системно-онтологический анализ предметной области // УСиМ. – 2009. – № 4. – С.3-14.

2. *Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М.* Производственные системы с искусственным интеллектом. – М: Радио и связь. 1990. – 264 с.

3. *Ясницкий Л. Н.* Введение в искусственный интеллект. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.

4. *Guarino N.* Formal Ontology and Information Systems / N. Guarino // Formal Ontology in Information Systems : (Frontiers in Artificial Intelligence and Applications) : proceedings. — Amsterdam : IOS Press / Ohmsha, 2008. – P. 3-15.

5. *Клещев А.С., Артемьева И.Л.* Математические модели онтологий предметных областей. Часть 1. Существующие подходы к определению понятия «онтология». // Научно-техническая информация, серия 2 «Информационные процессы и системы», 2001. – № 2. – С. 20–27.

6. *Клещев А.С., Артемьева И.Л.* Математические модели онтологии предметной области. Часть 2. Компоненты модели. // Научно-техническая информация, серия 2 «Информационные процессы и системы», 2001. – № 3. – С. 19–28.

УДК 005.311.2:004.94

П.М. Павленко, д.т.н., заст. дир. з наук.- метод. роботи ІДС,
С.В. Козьяков, аспірант, П.М. Ратушний
(Національний авіаційний університет, Україна)

КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ ЛІТАКА В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМИ CATIA V6

Представлено результати теоретичного та експериментального дослідження концептуального проектування складних технічних об'єктів

Проектування літака є дуже складним технічним завданням. Під час конструювання доводиться обробляти великі об'єми інформації, що дуже ускладнює весь процес. Все це та багато інших факторів зумовлюють розробку і впровадження нових методів та принципів конструювання, спрямованих на досягнення найкращого результату.

Метою конструювання є пошук необхідних інженерних рішень і втілення їх до конкретної поставленої задачі. Тому для найшвидшого отримання якісного результату, процес конструювання повинен бути чітко визначеним і формалізованим, розділеним на кілька етапів. Першим етапом є технічне завдання, наступний – етап концептуального або ескізного проектування. Після нього виконується технічний проект, за яким створюється робочий проект.

В процесі дослідження стало зрозуміло, що одним з найважливіших етапів у проектуванні нового виробу є саме етап концептуального конструювання. На жаль, саме на цьому етапі відсутні дієві методи, які б оптимізували його. На цій стадії здійснюється найбільш творча діяльність, виникають нові ідеї, рішення, що дуже важливо для об'єкта, який розробляється. Звичайно, не обов'язково все робити «з нуля», адже це не доцільно. Обов'язково треба використовувати знання попередників, однак повинна залишатись певна свобода думки, що має на меті створення нововведень, інновацій. Тому при проектуванні нового виробу необхідно обов'язково виконувати концептуальне конструювання, а оптимізація на цьому етапі покращить весь процес розробки.

В доповіді представлено результати теоретичних і експериментальних досліджень процесу формалізації й практичної реалізації концептуального проектування вузла літака – носової опори шасі.

Концептуальне конструювання представляє собою візуальне оформлення основної ідеї проекту, під час якого проводиться дослідження та узгодження параметрів, аналіз загальних концептуальних рішень по всім задачам, яким повинен відповідати даний проект. Концептуальний проект містить попередню конструкторську обробку всіх основних вузлів. Він базується на аналізі різних варіантів можливих конструкторських рішень, результатах розрахунків, оптимізації найбільш важливих параметрів і характеристик виробів, що проектуються. Проектування на концептуальному рівні означає здійснення процесу на понятійному рівні, для отримання розуміння об'єкту, що проектується, його загальної характеристики про конструкцію, габарити, принцип роботи, взаємодію з іншими об'єктами.

Прийнято вважати, що концептуальне проектування використовується у тих випадках, коли технічний об'єкт не може бути описана кількісними характеристиками, які дозволили б зробити опис закономірностей її функціонування чи опис розробки у вигляді аналітичних залежностей .Розглянемо детальніше методологічні аспекти цього виду моделювання. Концептуальна математична модель разом з описом технічного об'єкту (об'єкту дослідження та процесів функціонування об'єкту, і процесів обробки інформації), та способів взаємодії її структурних елементів відображає такі властивості як приналежність технічного об'єкту до певного типу та її кількісні характеристики. Тому, крім поділу елементів моделі на об'єкти та відношення між ними, можна виділити клас атрибутів (властивостей), які вступають з

елементами моделі (інформаційними об’єктами та процесами) в бінарні (взаємно однозначні) відношення, які можуть бути описані функціонально.

Таким чином, концептуальна математична модель технічного об’єкту містить такі складові: множину елементів моделі (об’єктів і процесів), відношення, які задаються над множиною елементів моделей, множину атрибутів об’єктів і відношень,множину функцій (функціональних відношень між інформаційними об’єктами, процесами та їх атрибутами).

Два перших, із вищезгаданих компонентів, утворюють схему об’єктів і процесів, а два останніх – моделі атрибутів і кількісні характеристики. Формально концептуальну математичну модель (КММ) можна представити кортежем:

$S_{kmm} =< P, O, H_p, H_o, I_n, O_{ut}, S >$,

де $P = \{p_i\}$ - множина процесів обробки інформації;

$O = \{o_j\}$ - множина інформаційних об’єктів (даних);

H_p, H_o – відношення ієрархії інформаційних об’єктів;

$I_n: P \to B(o)$ - відповідність *“I_n”* множини вхідних інформаційних об’єктів *B(o)* множині процесів *p* (*“I_n”* – інформаційна відповідність «вхідні інформаційні об’єкти процесу - процес»);

$O_{ut}: P \to B(o)$ - відповідність O_{ut} «процес – вихідні інформаційні об’єкти» множини вхідних інформаційних об’єктів *B(o)*множини процесів *P*;

$\delta: P \to B(P)$ - відношення проходження процесів (відповідність підмножини вхідних

$\{p_m\} = s\{i\}$ інформаційних процесів *B(p)* множини *P* на цю множину,

де $\{p_m\}$ – множина процесів, виконання яких має строго передувати виконанню певного процесу $p_i(p_m) \in S(p_i)$);

$S = \{s_k\}$ - множина компонентів концептуальної математичної моделі;

$i = \overline{1, \dots, I}$, $j = \overline{1, \dots, J}$, $m = \overline{1, \dots, M}$, $k = \overline{1, \dots, K}$ – множина відповідних індексів.

Представлена формалізація відображає суть концептуального проектування, яка полягає в тому, що під процесом розуміють певне перетворення (i_n, O_{ut}) вхідної підмножини об’єктів (даних про них) на іншу підмножину, яку називають вихідною. Тобто процес побудови моделі концептуального проектування може розглядатись як декларативне представлення задачі, вирішення якої полягає в описі причинно-наслідкових зв’язків щодо виробленого в предметній області перетворення інформації. Таким чином отримано математичну модель, яка включає всі множини інформаційних об’єктів та відображає сутність концептуального моделювання.

Розглянемо можливості оптимізації процесу концептуального проектування. Оптимізація – це процес приведення об’єкта в найкращий, оптимальний стан. Оптимізація означає вибір якогось одного варіанту проекту з множини варіантів, який по тим або іншим ознакам вважається найдоцільнішим. Задача вибору оптимальних параметрів розробки вузла у відповідності з певними критеріями оптимізації є задачею оптимального конструювання.

Прийняття конкретного варіанта має вирішальне значення на всіх стадіях розробки, а тому вибір оптимального варіанта повинен здійснюватись на ранньому етапі, тобто на концептуальному рівні.

Критерії оптимізації це показник, який доцільніший для даної оптимізації об’єкта. Він повинен бути об’єктивним і виправдовувати своє призначення. Для цього він повинен мати певні властивості, а саме – бути незалежним, однозначним, тобто не являтись функцією інших факторів, бути безпосередньо пов’язаним з параметром оптимізації, бути сумісним з іншими факторами, щоб не порушувати їх роботу та ін. В якості критерію оптимізації, в залежності від характеру і призначення об’єкта конструювання можуть бути прийняті: вартість, конструктивні і точні сні показники, маса, довговічність, ресурс. Параметри оптимізації цільової функції, в залежності від мети, для якої вони призначені, можуть бути:

- просторово-часовими (довжина, час, площа, об’єм, швидкість, прискорення та ін.);

- механічними (маса, , сила, момент, робота, енергія, потужність, тиск тощо);
- електромагнітними (кількість струму, питомий опір, магнітний потік і т.д.);
- тепловими (кількість теплоти, тепловий потік, коефіцієнт теплопровідності й таке інше);
- акустичними (звуковий тиск, інтенсивність звуку, рівень шуму та ін.);
- якісними (зовнішній вигляд, якість поверхні тощо.

Конструктор може застосовувати варіантне конструювання (порівняння кількох варіантів конструкції і вибір варіанту з мінімумом недоліків), або оптимізацію на інтуїтивному рівні. Знання методів оптимізації, досвід роботи і здатність творчо мислити, дозволяють конструктору уникнути недоліків і помилок в конструкції об'єкта.

Разом із дослідженням теоретичних основ концептуального конструювання, здійснювалась експериментальна перевірка отриманих результатів. В якості технічного об'єкту конструювання було взято проект носової стійки шасі регіонального літака.

Були сформовані вхідні дані, які формували технічні вимоги до майбутнього проекту: стійка повинна витримувати статичне і динамічне навантаження літака даного типу, злітна вага яких не повинна перевищувати 25 т. Стійка повинна мати можливість забиратись в нішу. Привід повинен здійснюватись гідроциліндром. Конструкція шасі повинна дозволяти експлуатацію літака як на бетонних злітно-посадкових смугах, так і на ґрунтових. Габаритні розміри обмежуються нішею шасі, а саме висота при максимальному ході штока в межах 1800-1850 мм, ширина ніші в межах 910-950 мм, а довжина 2000-2100 мм. Стійка повинна бути поворотною в діапазоні ±60°.

На основі таких вихідних даних, розпочався пошук конструктивного рішення, щодо структури майбутньої стійки. Для цього довелось розглядати багато різних схем і варіантів, вивчаючи їх переваги і недоліки.

Були сформовані основні принципи функціонування та структури стійки, розглянуті різні критерії. Стійка повинна забиратись в напрямку вздовж будівельної осі літака, проти руху потоку, що набігає. Це дозволить у випадку відмови гідросистеми випустити шасі за допомогою сил тяжіння і опору повітря. Стулки при цьому повинні відчинятись і зачинятись, для покращення аеродинамічних характеристик. Вони повинні приводитись в дію за допомогою тяг, які кінематично пов'язані з амортизаційною стійкою. Таким чином рух всіх елементів буде приводитись за допомогою одного основного гідроциліндра. Так ми позбуваємось додаткових приводів і вирішуємо проблему з синхронізацією. Стійка буде мати два колеса, що покращить розподіл навантажень на вісь і шасі в цілому. Тип самої стійки буде важільний, так як він забезпечує необхідне сприйняття удару (у випадку ґрунтової ЗПС), а також високий коефіцієнт передачі.

Визначаємо кінематичну схему, складові і розміри всіх структурних елементів, структура яких ще може змінюватись. Так для оптимального виконання даного проекту, була розроблена методика визначення кінематичної схеми інструментальними засобами CAD/CAM/CAE системи CATIA v6. Розглянемо його детальніше.

Розроблена методика концептуального проектування отримана завдяки параметризації побудови ескізів в середовищі CAD/CAM/CAE системи CATIA v6.

Отриманий параметричний ескіз дуже гнучкий, бо дозволяє повністю змінювати усі свої параметри. Таким чином ми підбираємо необхідну кінематичну схему, тобто оптимізуємо структуру механізму, Відразу перевіряємо, як об'єкт буде здійснювати рух, чи забереться стійка шасі у нішу при максимальному переміщенні штока циліндра чи закриються стулки ніші шасі. Якщо результат нас не задовольняє, та змінюються відповідні параметри. Отже здійснено структурну і частково параметричну оптимізацію на етапі концептуального конструюванні. Кінцевий вигляд отриманої кінематичної схеми зображено на рис. 1.

Подальше концептуальне конструювання полягало у створенні 3D моделі, яка б відповідала поставленим раніше технічним вимогам і вже відомій структурі стійки і

розмірам основних елементів. Процес конструювання і надалі проводили в інформаційному середовищі CAD/CAM/CAE системи CATIA v6 засобами твердотільного і поверхневого моделювання. Паралельно з побудовою виконувалась організація деталей у зборку, а також задавались усі зв'язки у вузлах між ланками у парі. Завдяки цьому розглядались всі деталі як окремі елементи, так і у взаємозв'язку з іншими. Потім дана конструкція компонувалась у механізм, що дало можливість також робити симуляцію процесу випуску шасі. Це покращує візуальне сприйняття об'єкту конструювання і допомагає остаточно перевірити кінематику системи у просторовому відношенні. Результати концептуально проектування представлено на рисунку 2. Вище описана методика реалізує процес концептуального конструювання. В подальшому спрощені елементи конструкції повинні доповнюватись усіма деталями і елементами. Згідно точної моделі повинні виконуватись автоматизовані інженерні розрахунки засобами CAE модулів системи CATIA v6. Таким чином здійснюється параметрична оптимізація даного технічного об'єкту.

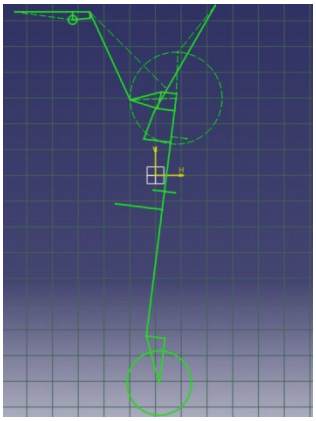


Рис.1. Кінематична схема шасі

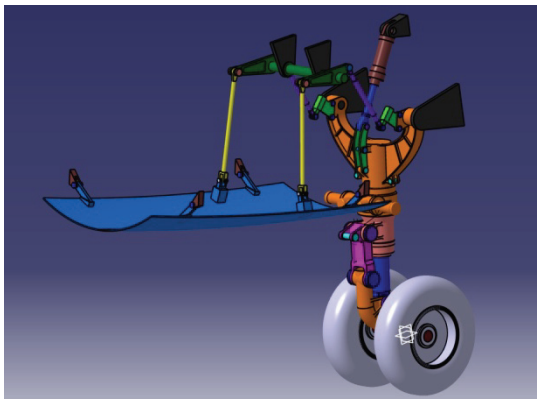


Рис.2. Результат концептуального проектування

Висновок

Етап концептуального конструювання – це творчий процес, що реалізує ідеї конструктора, сприяє пошуку інновацій, забезпечуючи виконання задач конструювання з мінімальними затратами і максимальною ефективністю. Таким чином знижується кількість помилок і зростає продуктивність всього процесу конструювання. Подальші дослідження будуть спрямовані на створення методики оптимізації, яка б вирішувала складні питання конструювання. Важливо, що ці принципи і засоби підходять не тільки для конструювання вузлів літака, а й для конструювання різноманітних технічних об'єктів та систем.

УДК 005.311.2:004.94

А.О. Хлевний, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗПОДІЛУ РОБІТ З ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИМИ ЗАСОБАМИ PDM-СИСТЕМИ ENOVIA SMARTEAM

Розглянуто два основних методи управління технологічною підготовкою виробництва, проаналізовано переваги та недоліки кожного при розподілі завдань на проектування технологічної документації. Визначено напрям удосконалення інформаційних технологій виробничого призначення

Скорочення державних замовлень та жорстка промислова конкуренція змушує вітчизняні підприємства адаптуватись до потреб ринку і переходити від серійного виробництва до дрібносерійного чи виробництва на замовлення. Все це можливо при якісно побудованій автоматизованій системі підготовки виробництва, яка базується не лише на сучасних програмних засобах для вирішення конструкторсько-технологічних завдань, але й на використанні ефективних методів управління процесами технологічної підготовки виробництва.

У даний час, основними методами управління, які використовуються в промисловому виробництві є два методи, кожен з яких базується на використанні своїх методологій. Першим (більш раннім) є методологія, яка базується на проектному менеджменті. Другим є метод управління життєвим циклом виробу (ЖЦВ), оснований на CALS-технологіях.

Проектний менеджмент – традиційний метод організації підготовки виробництва нової продукції, що базується на складанні планів робіт, розподілу ресурсів, кошторису витрат і контролі над їх дотриманням. При виконанні складних проектів слід вирішувати додаткові завдання – узгодження параметрів продукції з замовником, інтеграцію результатів розробки окремих частин виробу, організацію спільної роботи спеціалістів різних підрозділів та інші.

Для використання досвіду промислово-розвинених країн при вирішенні цих питань, розроблено і використовується стандарт управління проектами PM BOK (Project Management Book of Knowledge). Організація проектів на базі цього стандарту дозволяє підприємству покращити координацію проектних робіт, підвищити їх якість, скоротити строки виконання робіт і витрати. Для реалізації проектного підходу на підприємстві необхідно провести адаптацію PM BOK стандарту, врахувавши особливості організаційної структури і продукцію, що виробляється.

Однак, такий підхід не враховує невизначеностей, які виникають при розробці нової продукції. Коли в процесі розробки у замовника з'являються нові вимоги до виробу, а інженери не встигають закінчити проект у встановлені строки. У результаті, згідно статистичних даних PMI (Project Management Institute – некомерційна організація з філіалами в 170 країнах світу) строки не виконуються для 60% проектів, бюджети перевищуються в 80%, а результати потребують доопрацювань в 75% [1].

Управління життєвим циклом виробу (Product Life Management – PLM) передбачає створення інтегрованого інформаційного середовища (ІІС). Для цього потрібно об'єднати робочі місця конструкторів і технологів за допомогою системи управління виробничими даними PDM (Product Data Management) і створити єдину інформаційну базу (ЄІБ), яка поєднуватиме три області – продукти, процеси, ресурси. Це дозволяє скоротити витрати (матеріальні, часові) на створення і налагодження виробництва нового виробу. Світовою практикою доведено, що виготовлення виробів з використанням PLM технологій, значно скорочує строки технологічної підготовки виробництва (ТПВ), мінімізує кількість помилок, при цьому скорочує час виходу продукції на ринок.

Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки. Розглянемо їх на прикладі розподілу робіт з проектування технологічних процесів у технологічному бюро (ТБ)

підприємства і контролю над їх виконанням.

Використовуючи проектний підхід на підприємстві процес розподілу здійснюється наступним чином: при надходженні в ТБ конструкторської документації (КД) на виріб із зазначеними строками завершення ТПВ, керівник ТБ розподіляє роботу по проектуванню технологічної документації (ТД) між групами технологів. У процесі аналізу й розподілу завдань покладається лише на власні знання, про навички і кваліфікацію інженерів-технологів. Процес передачі завдань здійснюється на нараді з керівниками груп. Завдання видаються в паперовому вигляді із встановленими термінами виконання кожного чи (при наявності комп'ютерної мережі) їх електронні копії зберігають у директоріях кожного керівника групи або на цифрових носіях (дискетах, дисках, флешках).

Описаний вище процес розподілу надзвичайно трудомісткий і супроводжується суперечками між керівниками груп, адже кожен намагається отримати вище оплачуване завдання.

Здійснювати контроль над виконанням робіт у відповідності до плану ТПВ керівнику ТБ дуже складно. Необхідно аналізувати інформацію від підлеглих, яка часто подається, в паперовому вигляді і прорахувати ймовірність вчасного завершення всіх робіт. Складним є процес узгодження і затвердження змін у конструкції виробу. Часто саме це є причиною відходу від запланованого графіку робіт, і, як наслідок, маємо зрив термінів поставки виробу.

Основними якісними показниками ефективності процесу ТПВ є час витрачений на підготовку ТД ($T_{ТД}$), та її якість, яка повинна відповідати вимогам замовника. Для порівняння двох методів управління використаємо $T_{ТД}$, який складається з наступних складових:

$t_{пр}$ - час витрачений на прийом (передачу) КД в ТБ;

$t_{ан}$ - час витрачений на аналіз КД і розподіл робіт по створенню ТД кожній групі технологів;

$t_{розд}$ - час на обговорення і роздачу (прийом) завдань керівникам груп, далі керівниками груп, кожному окремому технологу (на нарадах);

$t_{розр}$ - час розробки ТД та внесення змін в конструкцію виробу;

$t_{затв}$ - час перевірки і затвердження ТД;

$t_{пер}$ - час витрачений на передачу документів у виробництво.

Отже, час витрачений на ТПВ при використанні проектного підходу і систем локальної автоматизації (CAD, АСТПВ) визначається наступним чином:

$$T_{ТД\,I} = t_{пр} + t_{ан} + t_{розд} + t_{розр} + t_{затв} + t_{пер} \qquad (1)$$

При використанні можливостей сучасних PDM- систем, і методу управління життєвим циклом виробу, процес отримання КД і розподілу завдань по проектуванню ТД відбувається в інтегрованому інформаційному середовищі. Керівнику ТБ приходить лист, на корпоративну пошту (в PDM-системі) рис. 1, із технічним завданням в якому зазначено кількість виробів, час на ТПВ і місцезнаходження (в ЄІБ) КД на виріб. Далі керівник ТБ переглядаючи КД в електронному вигляді (3D-модель, креслення), планує і розподіляє завдання між групами технологів. І відправляє листи-завдання із планом по проектуванню ТД на частини виробу керівникам груп, а ті таким же чином, розподіляють роботи між технологами.

Значно спрощується процес внесення і затвердження змін у конструкцію виробу. Завдяки інтегрованому інформаційному середовищу підприємства, існує прямий обмін інформацією між його підрозділами (КБ і ТБ), а також чіткі бізнес-процеси (БП) внесення і затвердження змін. Вони дозволяють швидко вносити корективи до конструкції виробу і не перевищити заплановані строки завершення ТПВ. Приклад такого БП зображено на рис. 2. Тому $t_{пр}$, $t_{розд}$, $t_{затв}$, $t_{пер}$ дорівнюватимуть нулю, або стануть складовою $t_{розр}$, завдяки паралельному проходженню процесів розробки і внесення змін, затвердження і передачі на виробництво.

Недоліком такого розподілу є віддаленість керівника ТБ від підлеглих і значна відповідальність покладена на керівників усіх рівнів. Хоча ЄІБ спрощує процес отримання необхідних керівнику даних, але аналізувати їх доводиться самостійно.

Отже, час розробки ТД в інтегрованому інформаційному середовищі PDM-системи буде визначатись за формулою

$$T_{ТД\ II}=t_{ан}+t_{роз.} \quad (2)$$

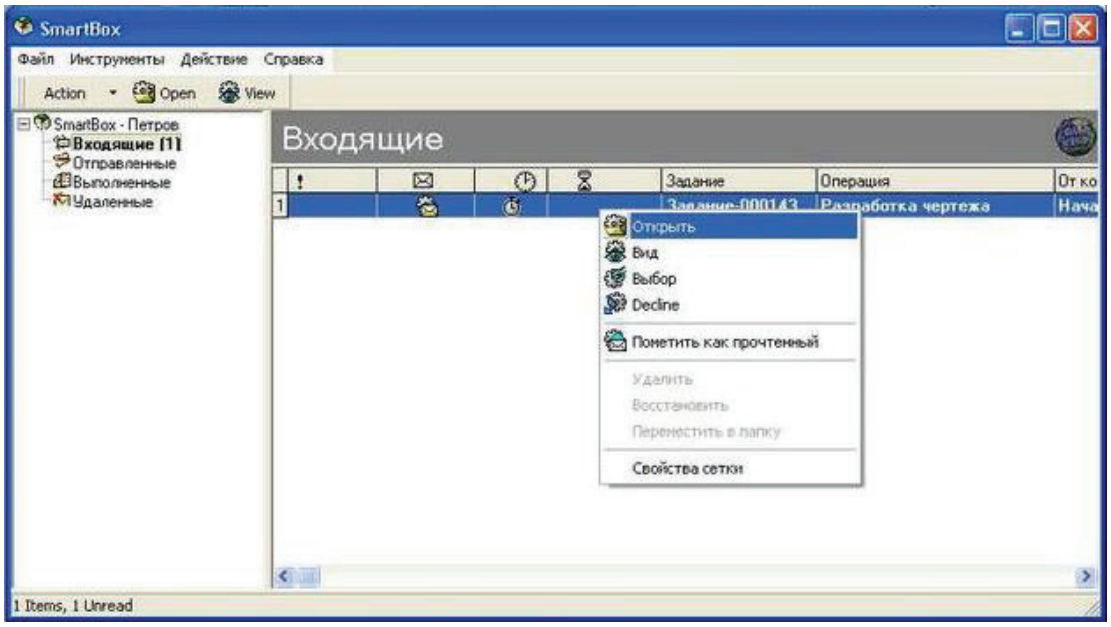


Рис. 1. Інтерфейс вікна корпоративної пошти SmartBox в PDM – системі ENOVIA SmarTeam v6

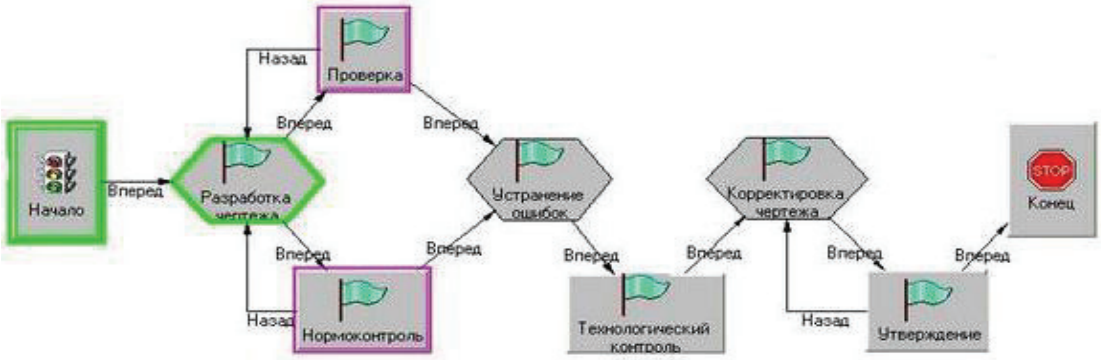


Рис. 2. Представлення процесу затвердження розробленого документу в PDM-системі ENOVIA SmarTeam v6

Порівнявши формулу (1) і (2), робимо висновок, що ІІС дозволило скоротити час розробки ТД, за рахунок автоматизації цілого ряду процесів. Тому використання PLM-технологій і методу управління життєвим циклом виробу впроваджується більшістю вітчизняних підприємств машинобудування, авіакосмічної, автомобілебудівної галузей промисловості.

Автоматизовані системи управління такі як: ERP, PDM, MRP, MRP II, не мають модулів які б допомагали керівнику ТБ правильно розподілити роботи між підлеглими, і швидко оцінити на якому етапі проектування ТД знаходиться кожна група технологів. У даний час для своєчасного виявлення зриву планів, керівнику ТБ необхідно аналізувати інформацію з системи. Що досить складно зробити при наявності кількох сотень документів.

Актуальною науковою задачею є створення інформаційної технології, яка б розширила функціонал PDM-системи, й автоматично розподіляла завдання по проектуванню ТД технологам, а також автоматично генерувала планові звіти контролю над їх виконанням.

Для вирішення поставленої задачі використаємо 3D-моделі виробів. Адже сучасне промислове виробництво широко використовує 3D-моделювання. Воно дозволяє зменшити кількість помилок при проектуванні, швидко проаналізувати кількість ресурсів необхідних для виготовлення виробу, розробляти програми на верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ), презентувати продукцію покупцю по закінченню проектних робіт не

чекаючи виготовлення виробу та інше.

На вітчизняних підприємствах використовуються різні системи проектування (SolidWorks, CATIA, Компас, та інші), тому підсистема, що аналізуватиме й розподілятиме роботу по проектуванню ТД повинна використовувати універсальний 3D-формат, наприклад, STEP.

Отже, для роботи підсистеми необхідно згенерувати поряд з оригінальною 3D-моделлю її копію в універсальному форматі. Для цього скористаємось можливостями PDM-системи. В ENOVIA SmarTeam існує можливість автоматичного генерування поряд з оригіналом моделі файлу з такою ж назвою, але в форматі STEP. Підсистема порівнюватиме моделі 3D-шгаблонів кожного технолога з моделями деталей нового виробу. Використовуючи властивості 3D-моделі: об'єм, габарити (ширину, висоту), матеріал та математичний опис геометричних фігур. Приклад різних за формою моделей зображено на рис. 3. Шаблонами будуть моделі деталей на які технолог раніше розробляв ТД. Попередньо розподіливши 3D-моделі, і сформувавши листи-завдання, підсистема чекатиме підтвердження від керівника ТБ, для розсилання завдань технологам.

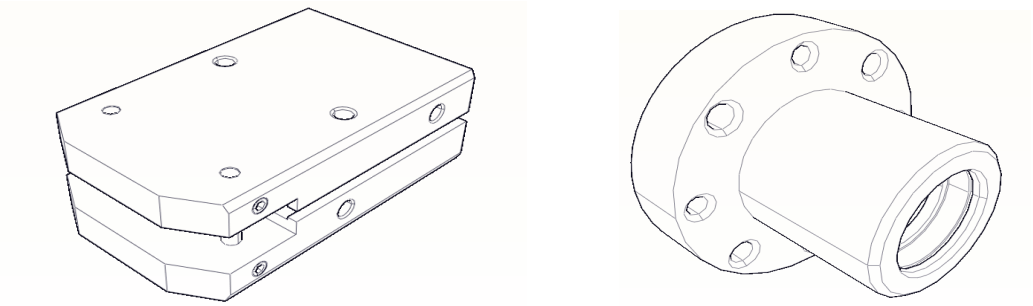


Рис. 3. Два варіанти конструктивно різних 3D-моделей деталей виробу

Підсистема контролю над виконанням робіт по проектуванню технологічної документації використовуватиме ЄІБ підприємства, як джерело отримання об'єктивних даних для аналізу. Першим кроком підсистема, розраховуватиме час проведення контролю, що залежить від загального (планового) часу виділеного на підготовку ТД. Другим кроком, буде порівняння кількості конструкторських документів виданих технологу ($N_{КД}$), для розробки ТД, з кількістю затверджених технологічних документів ($N_{ТДз}$). Згідно з формулою (3) розраховуватиметься відсоток від виконаної роботи, а результати розрахунку відображатимуться графічно у вигляді діаграм

$$K = N_{ТДз} / N_{КД} \times 100\% . \qquad (3)$$

Таким чином використання представлених вище підсистем дозволить скоротити час прийняття рішень керівником ТБ по управлінню процесом технологічної підготовки виробництва.

Висновок

Використання методу управління життєвим циклом виробу і PLM-технологій є запорукою успішної конкуренції підприємства, що виготовляє складну, наукоємну продукцію. Для підвищення ефективності використання ІІС у процесах управління ТПВ, необхідно частково розширити функціонал PDM-системи, за рахунок використання розроблених підсистем автоматизованого аналізу й розподілу завдань технологам і підсистеми контролю над їх виконанням.

Список літератури

1. http://www.solver.ru/products/itprod/critical.asp
2. *Павленко П.М.* Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія / П.М. Павленко. – К.: Кн. вид-во НАУ, 2005. – 280 с.

УДК 621.396.13

М.С. Пелих, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНИХ АСПЕКТІВ УПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ 3G ТА 4G ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В УКРАЇНІ

Ситуація з упровадження нових технологій зв'язку та передачі інформації в Україні досить складна. Існують проблеми з наявністю вільних радіочастот, проведенням тендеру на придбанням ліцензій для впровадження нових технологій недержавними телекомунікаційними операторами, малою зацікавленістю та обізнаністю населення у нових технологіях та їх можливостях.
У статті детально розглянуто проблемні питання і наведено можливі шляхи їх вирішення

В Україні засновано та впроваджено стандарти зв'язку і передачі інформації другого покоління (2G). Вони представлені Global system for Mobile Communications (GSM) – міжнародним стандартом для мобільного цифрового стільникового зв'язку з розділенням каналу за принципом TDMA (Time Division Multiple Access) та високим рівнем безпеки за рахунок шифрування з відкритим ключем. Стандарт було розроблено під патронатом Європейського інституту стандартизації електрозв'язку (ETSI) наприкінці 80-х років. Спочатку, стандартом було передбачено передачу голосової інформації стільниковими каналами зв'язку з мінімальним переліком додаткових послуг, а саме:

- передача голосової інформації;
- послуга передачі даних (синхронний та ансинхронний обмін даними, в тому числі пакетна передача даних – GPRS);
- передача коротких повідомлень;
- передача факсів.

В Україні такий тип зв'язку надається операторами на частотах 900 і 1800 МГц. На даний час ця технологія реалізована і підтримується основними учасниками ринку стільникового зв'язку України. Це компанії:

- ВАТ «Київстар GSM»;
- ВАТ «Мобільні телесистеми» під торговою маркою «МТС»;
- ТОВ «Астеліт» під торговою маркою «Life».

Пік популярності GSM отримав наприкінці 90-х років XX століття. Технологія повністю стандартизована і сертифікована Міжнародним Союзом Електрозв'язку. На європейському континенті, у тому числі й в Україні, такий стандарт зв'язку сьогодні є основним для користувачів, хоча вже давно безнадійно застарілий. Переважна більшість абонентів надає перевагу «стандартним» послугам стільникового зв'язку другого покоління, а саме: голосовому дзвінку та текстовим повідомленням. Хоча стандартом GSM і передбачено функції передачі інформації, доступу до глобальної мережі Інтернет і спеціального мобільного контенту (технологія GPRS, пізніше EDGE). Вони рідко застосовуються із-за малої популярності, що зумовлено високими тарифами і низькими швидкостями.

Для збільшення швидкостей мобільної передачі інформації та доступу до мережі Інтернет, концерном 3GPP (3rd Generation Partnership Project) розроблено стандарт зв'язку третього покоління (3G), представлений технологіями UMTS та CDMA2000. Технологія UMTS розроблена для Європи, CDMA2000 – для США. Заявлена швидкість передачі інформаційних даних дозволяє на комфортному рівні користуватись мобільним Інтернетом. UMTS реалізована в чотирьох частотних діапазонах – 850/1700/1900/2100 МГц. Основними перевагами стандартів зв'язку третього покоління є:

– можливість передачі як голосових, так й інформаційних даних;
– швидкість передачі інформаційний даних до 3 Мб/с;

– підвищена екологічна безпека;

– високий рівень захисту від розриву зв'язку під час руху абонента.

Залишалося найскладніше – змінити тип послуг телекомунікаційними операторами, що передбачало повну заміну застарілого обладнання, програмного забезпечення та абонентських терміналів (мобільних телефонів).

Але, що ми маємо на даний час? Основні оператори стільникового зв'язку України й надалі надають послуги зв'язку стандарту GSM, хоча сьогодні навіть UMTS вже є морально застарілим. Спробуємо розібратись у причинах такої ситуації.

Першою причиною є проблеми зі звільненням радіочастот для впровадження нових технологій. Так, для запуску технології UMTS в Україні, необхідно регулюючим органам, представленим в Україні Національною Комісією з питань регулювання зв'язку, вирішити питання щодо надання телекомунікаційним операторам вільних радіочастот. Але тут виникає проблема, так як не задіяних частот немає. В Європі, наприклад, для впровадження технологій зв'язку нового покоління передбачено використання радіочастот, які звільняться після повного переходу на цифровий формат телебачення, тобто частот, на яких функціонувало аналогове телебачення. Повний перехід Європи планується у 2012 році. В Україні програмою розвитку та впровадження цифрового формату телебачення передбачено повний перехід до 2016 року. До того часу, упровадження 3G перестане бути актуальним.

Нещодавно Національною Комісією з питань регулювання зв'язку України було об'явлено про плани щодо проведення тендеру для отримання ліцензій на частоти для недержавних телекомунікаційних операторів з метою впровадження і розвитку стандартів зв'язку третього покоління 3G в Україні. Планується продаж чотирьох ліцензій. Заявлено, що частоти будуть отримані у результаті конверсії зайнятого Міністерством Оборони України діапазону внаслідок повної заміни застарілого радіообладнання, що функціонує на необхідних радіочастотах. Але для цього потрібні значні кошти, які в бюджеті України в умовах кризи відсутні. Заявлена Міністерством сума складає близько 2,5 млрд. грн. Так, було прийнято рішення, що для переобладнання Міністерства Оборони частину коштів у сумі близько 800 млн. грн. буде виділено з державного бюджету. Основну ж частину коштів передбачено отримати від зацікавлених у придбанні ліцензій недержавних телекомунікаційних операторів. Разом з тим, Міністерство Оборони України не розголошує відомостей щодо необхідного переліку та специфікацій необхідного обладнання, тобто заявлена сума у 2,5 млрд. грн. не має економічного підґрунтя. Таке рішення мало зацікавило недержавних телекомунікаційних операторів, так як невигідно оплачувати заміну обладнання для Міністерства Оборони і додатково сплачувати за ліцензії, ціна яких складатиме приблизно 400 млн. грн. Тому ситуація на даний час залишається невирішеною, і, у разі подальшої затримки проведення конкурсу на ліцензії під 3G, може виникнути ситуація, коли телекомунікаційні оператори відмовляться від впровадження 3G на користь нових перспективних технологій четвертого покоління 4G, представлених стандартами Wimax і LTE (Long-Term Evolution). Така ситуація мало задовольняє рядового користувача, змушеного користуватись застарілими технологіями зв'язку.

Другою причиною затримки впровадження нових технологій зв'язку в Україні є необхідність недержавних телекомунікаційних операторів повернути кошти, інвестовані у розвиток технологій другого покоління. Так як впровадження стандартів третього покоління 3G потребує повного переобладнання базових станцій, апаратного і програмного забезпечення, а отже значних капіталовкладень, то оператори не поспішають їх упроваджувати. Така тенденція спостерігається не тільки в Україні, але й в Європі. Саме тому Європа залишається частиною світу, яка досі активно використовує застарілі технології зв'язку, у той час як розвинені країни Америки та Азії проводять активне тестування технологій четвертого покоління зв'язку, а саме стандарту LTE [1].

Третьою причиною є мала обізнаність населення України у можливостях нових технологій зв'язку. Це пов'язано також з невисокими доходами населення, коли кошти для підключення і використання додаткових функцій зв'язку відсутні. Тому оператори зв'язку не

впевнені в успішності впровадження нових технологій, бо вони можуть не отримати значного поширення, а отже вкладені в них кошти себе не виправдають, що призведе до важких наслідків для телекомунікаційних компаній.

Як відомо, для успішного розвитку будь-якої галузі бізнесу необхідна конкуренція, інакше, виникає монополія і товари та послуги стають невиправдано дорогими або неякісними. А у разі відсутності реальної схеми позиціонування продукту на ринку, навіть монополія не сприяє ефективному розвитку бізнесу. Саме в такій ситуації опинився національний телекомунікаційний оператор України ВАТ «Укртелеком», який отримав ліцензію та частоти для впровадження 3G поза конкурсом і є сьогодні монополістом на ринку зв'язку третього покоління в Україні. У 2009 році така мережа була запущена у м. Києві та інших обласних центрах під торговою маркою «Utel». Але, у результаті відсутності ефективної рекламної кампанії, слабкої конкуренції та невисокої якості послуг, значного поширення серед користувачів технологія не отримала. Внаслідок чого маємо четверту проблемну причину впровадження нових видів зв'язку в Україні – неефективну політику в умовах монополії. Хоча, вірогідно, що новий власник ВАТ «Укртелеком» – компанія ООО EPIC Services Ukraine, яка є дочірньою структурою австрійської компанії EPIC, придбала його з метою розвитку послуг 3G саме в умовах монополії.

Очевидно, що з урахуванням викладеного, перспективи розвитку технологій зв'язку третього покоління є досить невиразними. Реальною альтернативою можна вважати нову технологію, яка отримала значний розвиток в США та країнах Азії – LTE. По-перше, у порівнянні з 3G, технологія має беззаперечні переваги:

– передача голосових даних згідно протоколу IP;
– обмін комп'ютерними даними на швидкості до 100 Мбіт/с;
– використання технології MIMO (з великою кількістю антен на приймальній і передавальній сторонах) для підтримки заданої якості зв'язку при високих швидкостях руху абонента;
– зниження сукупної вартості обслуговування мережі зв'язку для телекомунікаційних операторів;
– розширення спектру і підвищення якості доступних додаткових послуг, пов'язаних з передачею даних високошвидкісними каналами зв'язку [2].

По-друге, відомо, що переобладнання мереж другого покоління GSM для впровадження послуг як третього так і четвертого покоління зв'язку вимагає майже рівних за сумою інвестицій з боку операторів. Тобто реально більш вигідно пропустити і не впроваджувати стандарт зв'язку третього покоління 3G, а одразу перейти на LTE, тим паче, що телекомунікаційні оператори України висловлюють готовність розгортати мережі четвертого покоління.

По-третє, впровадження мереж та послуг зв'язку четвертого покоління вигідне для користувачів, оскільки, в умовах масштабного розвитку соціальних мереж, он-лайн сервісів, інтерактивних додатків тощо, мобільний Інтернет і передача інформації отримають значну популярність.

Технологічно, частоти, які в Україні передбачено виділити для 3G можливо використати для впровадження і розвитку LTE. Але існує проблема відсутності необхідної стандартизації з боку Міжнародного Союзу Електрозв'язку. В умовах активного розвитку LTE у світі, вірогідно, що стандарти для технології будуть розроблені у найкоротші строки [3]. Тому, можливим варіантом вирішення проблеми впровадження нових стандартів зв'язку та передачі інформації в Україні є відмова від 3G і поступове переобладнання і підготовка до розгортання мереж LTE. Разом з тим, для якнайшвидшої організації такого процесу, вбачається за доцільне:

- організація і проведення конкурсу на придбання частот на вигідних для операторів недержавної форми власності умовах одразу під технологію LTE;
- розроблення державної програми розвитку мереж наступних поколінь LTE в Україні;
- запуск тестових мереж з метою виявлення недоліків і їх ефективного усунення;

- проведення масштабних рекламних акцій з метою доведення до користувачів переваг нової технології;
- забезпечення регулюючими органами конкурентного середовища між телекомунікаційними операторами з метою надання якісних послуг по доступним цінам для користувачів.

Висновки

У статті детально розглянуто причини складної ситуації з упровадження технологій наступного покоління в Україні, які полягають в затримці проведення конкурсу на частоти під впровадження нових технологій, малій зацікавленості операторів у зв'язку з необхідністю повернення інвестицій в стандарти попереднього покоління, слабкій обізнаності населення у можливостях нових технологій зв'язку, а також неефективній політиці національного оператора-монополіста ВАТ «Укртелеком» у питанні впровадження нових технологій зв'язку. Серед можливих варіантів вирішення проблем представлено пропозиції щодо впровадження принципово нового для України стандарту LTE, який має беззаперечні переваги порівняно зі стандартами 3G з погляду як операторів, так і користувачів і наслідує останні тенденції розвитку галузі телекомунікацій у світі.

Список літератури

1. *Без автора* «Мобильная связь, перспективы 3G, LTE и 4G. Экспертный опрос», http://proit.com.ua/article/telecom/2009/09/17/160418.html.
2. *Андрей Дегелер* «Мобильный Интернет сегодня», http://ko.com.ua/node/43926.
3. *Ангелина Бакалинская* «Не только Украина отстает во внедрении и развитии LTE», http://www.broadband.org.ua/content/view/2730/486/.

УДК 621:004

Ю.Г. Нестеренко, ст. преподаватель
(Черкасский государственный технологический университет, Украина),
А.П. Владовский, начальник бюро «САПР и ПО»
(АТ «Черкасский автобус», Украина),
В.Н. Степаненко, начальник группы сектора САПР
(ОАО «Аэроприбор-Восход», Россия)

СОЗДАНИЕ МУЛЬТИМЕДИЙНОЙ СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЫ В СРЕДЕ PDM/PLM – СИСТЕМЫ T-FLEX DOCs 2010

В статье рассмотрены способы использования мультимедийных проектных решений (МПР), организованных в мультимедийную справочную систему (МСС) для инженерно-технических работников (ИТР) промышленного предприятия, использующих в своей деятельности PDM/PLM-систему T-FLEX DOCs 2010

Повышение качества выпускаемой продукции зависит от организации конструкторско–технологической подготовки производства (КТПП). Для сокращения сроков КТПП используются различные системы автоматизированного проектирования, их проектные (CAD/CAM/CAPP), а так же расчетные (CAE) модули. Как правило, инженерно–технические службы предприятия функционируют в едином информационном пространстве, основанном на использовании систем документооборота (PDM/PLM–систем). Необходимость использования PDM/PLM–систем доказано ведущими отечественными и зарубежными предприятиями.

На промышленных предприятиях PDM/PLM–системы используют для упорядочения, защищенности и своевременного доступа к технической документации ИТР. С их помощью организовывают оптимальное взаимодействие всех подразделений промышленного предприятия, включая взаимодействие технологических и конструкторских отделов, а также в автоматизированном режиме отслеживают весь жизненный цикл изделия: от идеи создания, проектирования и производства, до ремонта, эксплуатации и утилизации. При создании объектов проектирования, PDM/PLM–системы позволяют включать в состав изделия не только необходимую информацию о вновь создаваемом изделии в виде файлов, текстов, таблиц и пр., но также добавлять и файлы мультимедиа, файлы обучающего видео для ИТР. Типовые мультимедийные проектные решения (МПР) для ИТР в виде файлов мультимедиа, прикрепленные опытным конструктором в среде системы документооборота, позволят значительно сократить время КТПП. На сегодняшний день проблема заключается в том, что такие решения не используются в системах документооборота. В лучшем случае они выпускаются разработчиками программного обеспечения, не интегрированы с PDM/PLM–системами и выходят на отдельных компакт-дисках.

Обмен производственным опытом при проектировании в автоматизированных системах с использованием PDM/PLM–систем и Internet, использование дистанционного обучения и телекоммуникационных технологий позволит решить эту проблему.

Следует помнить, что еще с середины 60–х годов прошлого столетия по национальному телевидению Японии проводились специальные курсы обучения мастеров и бригадиров передовым методам организации работ по повышению качества выпускаемой продукции, возможностям влиять на качественный труд рабочих, пропагандировалась деятельность кружков качества [1]. МПР при автоматизированном проектировании в различных автоматизированных системах, внедренные в PDM/PLM–системы, также помогут ИТР промышленных предприятий перенять опыт проектирования уже в другой, не телевизионной, а мультимедийной форме.

Система электронного документооборота (СЭД) – автоматизированная многопользовательская система, сопровождающая процесс управления работой предприятия, которая опирается на человеко–читаемые документы, содержащие инструкции для сотрудников организации. Документооборот – движение документов в организации с момента их создания или получения до завершения исполнения или отправления или комплекс работ с документами:

прием, регистрация, рассылка, контроль исполнения, формирование дел, хранение и повторное использование документации, справочная работа.

Придерживаясь общепринятой аббревиатуры сокращений названий систем документооборота, они подразделяются на CRM, ERP, ECM, PDM, PLM системы:

CRM – Customer Relationship Management (управление отношениями с клиентами);

ERP – Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);

ECM – Enterprise content management (управление информационными ресурсами предприятия);

PDM – Product Data Management (управление данными об изделии);

PLM – Product Life–cycle Management (управление жизненным циклом изделия) [2].

В каждой из систем документооборота можно организовать работу с мультимедийными файлами обучения. Однако наиболее адаптированными для таких целей являются системы, работающие на базе СУБД SQL [3]. PDM/PLM – система T-FLEX DOCs 2010 использует в своей работе СУБД SQL, поэтому в данной статье рассмотрим принципы создания мультимедийной справочной системы (МСС) в среде именно этой системы.

Система документооборота T-FLEX DOCs 2010 состоит из двух частей. Первая — это платформа T-FLEX DOCs Line, которая отвечает за высокую производительность системы, а вторая — это клиентское приложение T-FLEX DOCs 2010, работающее на данной платформе.

Система T-FLEX DOCs 2010 позволяет охватить комплекс производственных задач, показанных на рисунке 1[4].

Рис.1. Комплекс производственных задач, охватывающий PDM/PLM-системой T-FLEX DOCs 2010

МСС для ИТР, работающих в CAD-системе и T-FLEX DOCs 2010 представляет собой базу данных видеоуроков по МПР, имеющую систему поиска и возможность обновления видеоинформации через сайт мультимедийного обучения в Internet [5].

Идея создания мультимедийной справочной системы в среде T-FLEX DOCs 2010 заключается в следующем. Опытный инженер, используя справочник «Номенклатура», собирает состав будущего изделия. При этом производит декомпозицию общей сборки на узлы и детали, подключает к ним файлы мультимедиа, в которых показаны типовые МПР, освещающие принципы создания сложных моментов проектирования. В справочнике «Файлы» должны быть размещены видео уроки, предварительно созданные опытным конструктором (технологом) или же импортированные с сайта мультимедийного обучения в Internet. В справочнике «Документ» создается объект, содержащий всю возможную информацию о детали, сборке и т.д., который подключается к справочнику «Номенклатура». Таким образом, в системе T-FLEX DOCs 2010 задействованы все три стандартных справочника. Видеофайл можно подключить как к документу в справочнике «Документы», так и к объекту в справочнике «Номенклатура и

изделия». Куда именно - зависит от того, что именно будет содержаться в видеоуроке, т.е. на какой стадии будет полезно использовать содержащуюся там информацию. В случае последовательной сборки узла, видеофайл следует подключать к номенклатурной единице. В случае изучения методики работы в CAD–системе – к объекту из справочника "Документы".

Поиск МПР (учебных видеофайлов) можно осуществлять двумя методами:

1. по названию изделия либо детали, при создании которых были использованы МПР, с которыми ИТР должен ознакомиться. В этом случае поиск осуществляется в справочниках «Номенклатура» или «Документы»;

2. по меткам или рубрикам (например, по названию операций в CAD–системе). Для формирования списка меток можно использовать справочник «Рубрикатор» из состава модуля «Управление канцелярией». В этом справочнике создаются метки при наполнении справочника «Файлы» файлами мультимедиа.

Последовательность создания и функционирования МСС в системе T-FLEX DOCs 2010 показано на рисунке 2.

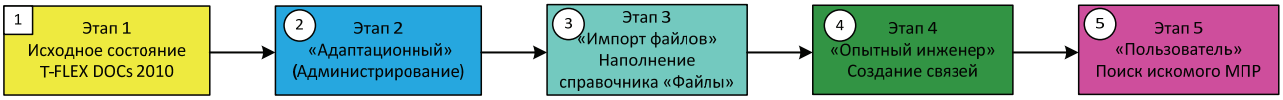


Рис.2. Последовательность создания и функционирования МСС в среде T-FLEX DOCs 2010

Создание и работа ИТР с МСС в системе T-FLEX DOCs 2010 осуществляется поэтапно.

Этап 1 «Исходное состояние системы T-FLEX DOCs 2010».

Под исходным состоянием системы T-FLEX DOCs 2010 следует понимать такую его комплектацию, которая предусматривает наличие следующих справочников: «Файлы», «Документы», «Номенклатура и изделия», «Рубрикатор»; [6]

Этап 2 «Адаптационный» предусматривает:

– необходимость создания дополнительной связи «Метки» (типа N:N) между справочниками «Файлы» и «Рубрикатор»;

– создание списков объектов этой связи в диалоге пользователя для типов «Файл AVI» и «Рубрика»;

– создание общих фильтров для поиска МПР из справочников «Рубрикатор», «Файлы», «Документы», «Номенклатура и изделия» (рисунок 3);

Этап 3 «Импорт файлов» предусматривает наполнение справочника «Файлы» файлами мультимедиа, а именно:

– импорт файлов из файловой системы и сайта мультимедийного обучения в Internet с одновременным созданием объектов типа «Файл AVI» и заполнение связи «Метки» для каждого из них;

– создание новых объектов типа «Рубрика» в справочнике «Рубрикатор» (создание рубрик можно осуществлять при заполнении связи «Метки»);

Этап 4 «Опытный инженер» предусматривает:

– создание дополнительной связи «Метки» и (или) заполнение связи «Документы» для объекта типа «Файл AVI»;

– создание (при необходимости) объекта справочника «Документы»;

Этап 5 «Пользователь» предусматривает поиск искомых МПР в справочниках «Файлы», «Документы», «Номенклатура и изделия», «Рубрикатор».

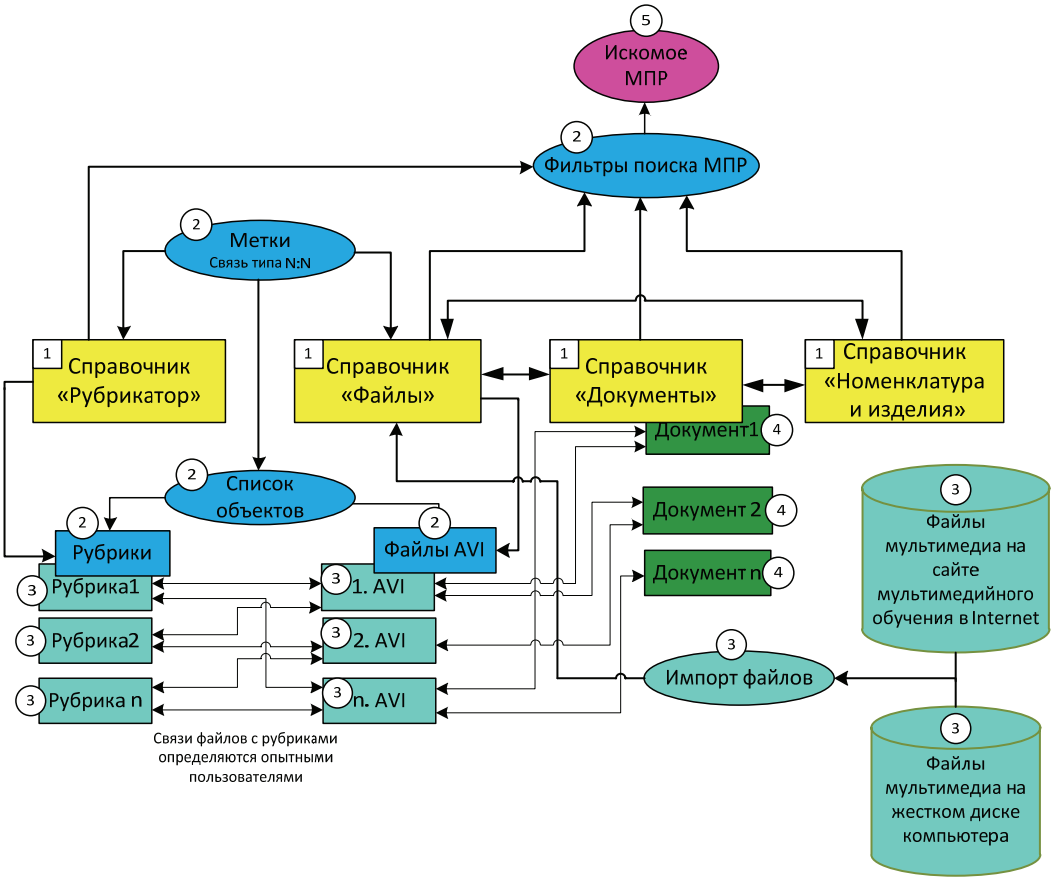


Рис.3. Действия пользователя при создании МСС в системе T-FLEX DOCs 2010 (*цифрами показаны номера этапов создания МСС)

Выводы

Для повышения качества обучения ИТР компьютерным технологиям проектирования в условиях промышленного производства необходимо:

- на промышленных предприятиях использовать PDM/PLM–системы, максимально поддерживающие стандарты ЕСКД (ЕСТД);
- создавать и использовать МСС в среде PDM/PLM–системы T-FLEX DOCs 2010, которая использует в своей работе СУБД SQL;
- разработанную схему создания МСС брать за основу технической реализации подключения обучающих файлов мультимедиа (МСС) к PDM/PLM–системе T-FLEX DOCs 2010.

Список литературы

1. *Исикава К.* Японские методы управления качеством: Сокр. пер. с англ. / Науч. ред. и авт. предисл. А.В. Гличев. – М.: Экономика, 1988. – 215 с.

2. *Павленко П.М.* Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія. - К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. - 280 с.

3. *Дидковская М.В., Нарыжный В.В.* Особенности построения мультимедийной системы управления базами данных // Системы автоматизированного проектирования. – Электроника и связь. – Вып. 3. – 2010.

4. Электронная ссылка: http://tflex.ru/

5. Электронная ссылка: mmm–nesterenko.at.ua

6. Руководство пользователя T–FLEX DOCs 2010. – Москва: ЗАО «Топ Системы», 2010.

УДК 519.6

И.В. Мирошниченко
(Национальный технический университет Украины "КПИ", Украина)

ВНЕШНЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ

Для уменьшения сроков разработки и снижения стоимости образцов современной высокотехнологичной техники в промышленности используются технологии непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделия - так называемые CALS-технологии – Continues Acquisition and Life cycle Support, или, в последнее время Computer Aided Acquisition and Logistic Support, сохраняя аббревиатуру – CALS

Основная цель использования CALS-технологий состоит в эффективном *управлении* на всех этапах LT изделий: внешнем проектировании (выработке концепции, создании математической модели проблемной области - Problem area – PRAR, проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и формированию определяющего показателя качества), внутреннем проектировании, технологической подготовке производства и производстве изделия, реализации изделия (маркетинговая политика), эксплуатации (включая сервис), модернизации и утилизации, в *сочетании* с непрерывным технико-экономическим *анализом* рисков и затрат различных ресурсов (финансовых, материальных, сырьевых, людских и т.д.) *при выборе оптимального решения* по определяющему показателю качества (точности, надежности, стоимости и т.д).

Эта цель достигается за счет интегрированного информационно-технологического взаимодействия в цепи заказчик – поставщик – потребитель, единых способах представления электронных данных и обмене ими, как основы корпоративной компьютеризированной интеграции систем управления на всех этапах LT современных высокотехнологичных изделий. Необходимым условием перехода на новый технологический уровень является расширение и более полное использование математических моделей (далее – моделей) PRAR. *Статические модели*, описывающие состояния PRAR и *динамические модели*, описывающие последовательность этих состояний, дают возможность использовать строгие научные методы преобразования информации, что гарантирует её достоверность после преобразований в системе обработки информации. *Алгоритм* обеспечивает возможность применения математических, например, численных, методов, к решению поставленной задачи (или комплекса задач по данной проблеме), что открывает возможность применения ЭВМ. *Программа* же дает возможность использования вполне определенных информационных технологий, например, цифровых методов обработки.

Набор приемов, использующих модели, программы и алгоритмы, принято называть информационными технологиями - ИТ. Статические и динамические модели PRAR играют основную роль в новой в ИТ, так как модели должны быть адекватны фрагментам объективной реальности. Основные направления работ в области внедрения CALS-технологий должны включать интегрирование метрологической и программной частей в Единое Информационное Пространство (ЕИП).

Основу ЕИП составляют CALS-стандарты на автоматизированный обмен информацией, внедрение которых требует подготовки электронной документации на изделие и разработки систем управления каталогизацией, информационной безопасности и управления контрактами на всех этапах LT изделия. При этом метрологическая часть - *единство измерений и выбор средств измерений* на всех этапах LT, является одной из главных составляющих ЕИП при разработке принципов преобразования массива данных или базы данных - DATA BASE (DB) в банк данных - BANK DATA (BD).

Обработка DATA BASE, в которых учитываются особенности PRAR, возможна в многоканальных и многофункциональных компьютерных статистических информационно-

измерительных системах (СИИС) или в системах обработки экспериментальных данных (СОД) по алгоритму BANK DATA = DATA BASE + *Control* (DATA BASE). Оператор *Control* означает функционал обработки DATA BASE и реализуется в виде алгоритмического и программного обеспечения процедуры обработки *результатов измерений* (BANK DATA), по которым разрабатывается техническое задание (ТЗ) для последующего этапа внутреннего проектирования уникальной СИИС (СОД) для конкретной PRAR.

На этапе более формализованного внутреннего проектирования СИИС (СОД) CALS-технологии используют системы автоматизированного проектирования (САПР) - CAD (Computer Aided Design); системы инженерных анализов и расчетов - CAE (Computer Aided Engineering); системы компьютеризированных интегрированных производств - CIM (Computer Integrated Manufacturing) или CAM (Computer Aided Manufacture); системы управления проектом - PDM (Product Data Management) и системы планирования и управления производством – ERP (Enterprise Resource Planning).Широкое распространение современных САПР обусловлено появлением микропроцессорной техники, которая предоставила возможность создавать, модифицировать и обрабатывать сложные графические изображения на экране монитора ЭВМ. Среди систем САПР широкое распространение получили ProEngineer, AutoCAD. Основной функцией САПР является автоматизированное проектирование на всех (или отдельных) стадиях проектирования объектов и их составных частей на основе применения математических и других моделей, автоматизированных проектных процедур и вычислительной техники. Результатом проектирования в САПР является получение совокупности законченных проектных решений, которые используются в CAM-системах (CAM - Computer Aided Manufacture) или CIM-системах (CIM - Computer Integrated Manufacture).

Использование CALS-технологий обуславливает широкую взаимную интеграцию CAD и CAM систем (интегрированная система имеет название CAD/CAM-система), с планирующими ERP-системами (Enterprise Resource Planning) под управлением PDM-систем (Product Data Management). Следует отметить, что CAD/CAM-системы проектирования используют большую часть всего программного обеспечения, необходимого при внедрении CALS-технологий

Первая (основная) группа программных средств - CAD/CAM/CAE-систем условно делится на системы верхнего (ProEngineer, CATIA,), среднего и нижнего уровней. В последнее время наблюдается приближение систем среднего уровня (ADEM – Omega Technology, Cimatron, Mastercam, Autodesk Inventor, Powermill, CADdy++ и многих других) к системам верхнего уровня и они уже имеют расчетную часть CAE. В первую группу входят и системы, поддерживающие концепцию полного электронного описания объекта – EPD (Electronic Product Definition) на всех этапах LT. EPD-концепция предполагает замену (замещение) процесса последовательного компонентно-центрического проектирования на изделие-центрический процесс, осуществляемый параллельно проектно-производственными командами – то есть происходит превращение автономных CAD, CAM и CAE систем в интегрированную CAD/CAM/CAE-систему. Таких систем в настоящее время очень много и проблемой становится правильный их выбор и разработка методов согласования между системами. Сегодня для CALS-технологий существует несколько производителей программных продуктов, в основном из США, которые предлагают похожие CAD/CAM/CAE–системы, например, ProEngineer, AutoCAD

Вторую группу программных средств обеспечения CALS-технологий составляют PDM-системы (Product Data Management), предназначенные для эффективного управления всеми параметрами, относящимися к модели. Наиболее популярными являются следующие PDM-системы: Optegra от PTC, WindChill от PTC, iMAN от UGS .

Третью группу программных средств обеспечения CALS-технологий составляют ERP-системы (Enterprise Resource Planning). ERP-системы являются ключевыми при оценке предполагаемого эффекта (технического, экономического и т.д.) от применения

разрабатываемого изделия (системы). Наиболее используемые ERP-системы: BAAN IV от Baan Engineering, (США), SAP R/3 от SAP AG (ФРГ) и Oracle8.

Все программные продукты CALS-технологий построены на общих принципах управления производством, обязательно включающие системы автоматизированной технологической подготовки производства (АСТПП), под которым понимают любой автоматизированный (чаще всего - под управлением компьютера) производственный процесс проектирования и изготовления инструмента, оснастки, приспособлений, станков, необходимых для производства основной продукции.

Следует заметить, что внедрение CALS-технологий невозможно без комплексного внедрения ERP-системы (Enterprise resource Planning – планирование ресурсов предприятия) на всех этапах LT ни одна из систем CAD/CAM/CAE, PDM, ERP не является универсальной, то есть совершенной с точки зрения разработчика.

Преимущества, предоставляемые CALS-технологиями, являются настолько очевидными, что большинство фирм и предприятий развитых стран выделяют огромные средства на разработку CAD/CAM/CAE, PDM, ERP систем. На сегодняшний день в Украине создаются условия для внедрения CALS-технологий в промышленность, в частности, в авиационную и ракетостроение. Кабмин планирует выделить средства из бюджета; в июле 2000 г. Президентом Украины был подписал указ “О мерах по развитию национальной составляющей глобальной Информационной сети Интернет и обеспечению широкого доступа к этой сети в Украине”; создан Межотраслевой Совет по CALS-технологиям при Государственном комитете промышленной политики Украины. Этот комитет разработал межотраслевую программу взаимодействия научно-конструкторских и промышленных структур по CALS-технологиям.

Выводы

Современные CALS-технологии внешнего проектирования информационно-измерительных систем для промышленности дают возможность не только сократить срок внедрения новых изделий, но и оказывают существенное влияние на технологию их производства, позволяя улучшить качество и надежность продукции. Внедрение CALS-технологий является необходимым условием для улучшения качества и повышения конкурентоспособности наукоемкой продукции на внешнем рынке за счет уменьшения сроков разработки изделий.

Литература

1. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 336 с.

УДК 621.391:621.314

А.В. Толбатов, асистент
(Сумський державний університет, Україна)

АНАЛІЗ ПЕРЕТВОРЕНЬ ЕЛЕКТРОННИХ СИГНАЛІВ У ЛІНІЙНИХ І НЕЛІНІЙНИХ ТРАКТАХ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГАЗОТУРБІННОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

У роботі розглянуто аналіз перетворень випадкових процесів, метою яких є визначення математичного сподівання і кореляційної функції випадкового процесу, що досліджується на прикладі інформаційного моніторингу функціонування газотурбінної електростанції

Ефективність функціонування таких складних енергогенеруючих систем як газотурбінна електростанція (ГТЕ) забезпечується за допомогою сучасної системи моніторингу. Моніторинг стану, процесів і показників функціонування ГТЕ здійснює спеціальна інформаційна підсистема у складі автоматизованої системи управління (АСУ), яка має назву системи моніторингу. Ця система не має цілісного конструктивного оформлення та є розподіленою. Якісне виконання функцій моніторингу надзвичайно важливо для реалізації всіх функцій управління процесом функціонування ГТЕ. Математичні моделі інформаційних сигналів та методи аналізу перетворень випадкових сигналів і перешкод у лінійних й нелінійних трактах АСУ створюють теоретичну базу розв’язку задач моніторингу моделі енергонавантаження ГТЕ.

У більшості задач проводиться аналіз проходження випадкових процесів через відповідні тракти електронних систем. При такому дослідженні визначається зв'язок статистичних параметрів вхідного процесу, який зазвичай заданий, з перетвореним випадковим процесом.

У даний час найбільш розвиненими є методи аналізу перетворень випадкових процесів лінійними ланками, які дозволяють розв’язувати задачі лінійних перетворень в межах кореляційної теорії.

Проте в явному вигляді ще немає спільного вирішення задачі визначення функції розподілу відгуку лінійної системи при дії довільного випадкового процесу. У спільній постановці це завдання вирішується для двох окремих випадків при дії:

- гауссівських процесів [1–5, 8, 10];
- лінійних випадкових процесів [6, 7, 9].

При дослідженні проходження випадкових процесів через нелінійні тракти відразу ж виникають труднощі навіть в рамках кореляційної теорії. Для безінерційних нелінійних трактів, заданих своєю динамічною характеристикою, розроблено низку методів, які дозволяють в більшості випадків визначити кореляційну функцію на виході такої ланки при дії гауссівського випадкового процесу [4, 7].

Через відсутність чітких математичних методів дослідження перетворень випадкових процесів інерційними нелінійними трактами застосовують наближені методи [4].

Проте існує клас інерційних нелінійних систем, для яких аналіз перетворень випадкових процесів можна виконати порівняно просто. Це клас інерційних нелінійних систем, що представляє послідовність безінерційних нелінійних і лінійних трактів, які під час роботи не впливають один на одного. Система, яка складається із трьох трактів, що не впливають один на одного, з яких перший і третій – лінійні інерційні, а другий – нелінійний безінерційний, отримала назву типового радіотехнічного тракту.

У роботі [4] наведено результати дослідження перетворень випадкових процесів типовим радіотехнічним трактом.

Відомі методи дослідження перетворень випадкових процесів у лінійних і нелінійних трактах, застосування кожного з яких залежить від постановки конкретного завдання, можна розділити на дві групи :

- методи в межах кореляційної теорії;
- методи, які дають можливість знаходити не лише перші два моменти, але й інші характеристики випадкового процесу, такі як вищі моменти, характеристична функція або щільність розподілу.

Зупинимося коротко на деяких із них.

Доведено, що лінійні випадкові процеси є основною математичною моделлю основних інформаційних сигналів електронних систем ГТЕ. Розглянемо основні положення статистичного методу моделювання на комп'ютері реалізацій лінійних випадкових процесів.

Відомо [11], що метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло) дає можливість шляхом алгоритмічно-програмних обчислювальних процедур на комп'ютері відтворити, певною мірою, статистичні характеристики стохастичних моделей. Цю властивість методу можна вважати унікальною, тому що „стохастичність", в якійсь мірі, реалізується на основі використання невипадкових (детермінованих) обчислень. У більшості випадків міру такого відтворення в імовірнісному сенсі можна вирахувати.

Інтегральне зображення лінійного випадкового процесу матиме вигляд

$$\xi(\omega,t)=\int_0^{\infty}\varphi(\tau,t)d_{\tau}\eta(\omega,\tau)=\int_0^{\infty}\varphi(\tau,t)\eta'(\omega,\tau)d\tau\,, \qquad (1)$$

що по суті є алгоритмом формування реалізацій лінійного випадкового процесу, а саме:

$$\zeta(\omega,t)=\int_{-\infty}^{\infty}\varphi_1(\tau,t)\xi(\omega,\tau)d\tau\,.$$

Методологія комп'ютерного моделювання реалізацій лінійних випадкових процесів зображена алгоритмом, структурна схема якого наведена на рис. 1, де $\varphi_1(\tau,t)$ – імпульсна перехідна функція „формуючого" лінійного фільтру, $\xi(\omega,t)$ – вхідна дія тобто лінійний випадковий процес, $\zeta(\omega,t)$ – відгук фільтру тобто лінійний випадковий процес з відповідно іншим ядром інтегрального представлення (1).

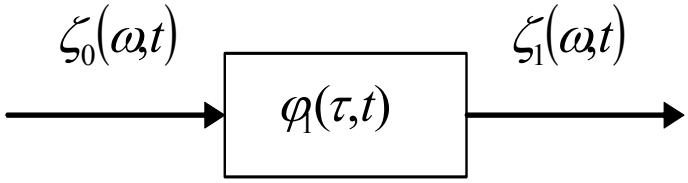


Рис. 1. Схема лінійних перетворень на основі формуючого фільтра сигналу

Вище було розглянуто твердження про те, що лінійні перетворення (дія лінійного обмеженого оператора) лінійних випадкових процесів залишаються у класі лінійних процесів. Це можна показати на основі використання виразу (1):

$$\zeta(\omega,t)=\int_0^{\infty}\varphi_1(\tau,t)\xi_1(\omega,t)d\tau\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\varphi_0(s,\tau)\varphi_1(t,s)\eta'(\omega,s)dsd\tau=\int_0^{\infty}\varphi_{01}(s,t)\eta'(\omega,s)ds,$$

де $\varphi_{01}(s,t)=\int_0^{\infty}\varphi_0(\tau,s)\varphi_1(t,\tau)d\tau$.

Такий результат дає можливість структурну схему алгоритму певною мірою відобразити у більш загальному вигляді (рис. 2).

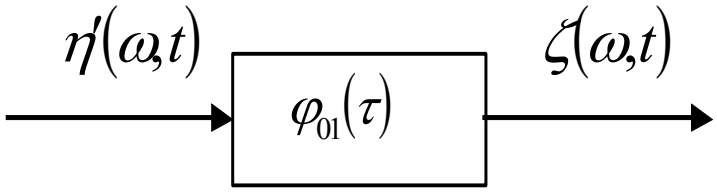


Рис. 2. Структурна схема узагальненого “формуючого” фільтра

Тобто вхідна дія є випадковим процесом „білого шуму” і діє на інший лінійний фільтр, тобто у загальному випадку маємо випадковий процес „білого шуму”, як узагальнену похідну стохастично-неперервного однорідного випадкового процесу з незалежними приростами і безмежно подільними законами розподілу, який має дві адитивні компоненти:

$$\eta'(\omega,t)=\upsilon(\omega,t)+\pi(\omega,t),\omega\in\Omega,t\in T.$$

Випадковий процес $\eta'(\omega,t)$ – процес з незалежними значеннями, є стаціонарним випадковим процесом у вузькому розумінні з двома складовими:

- гауссівський стаціонарний процес з незалежними значеннями $\upsilon(\omega,t)$;
- пуассонівський стаціонарний процес з незалежними значеннями $\pi(\omega,t)$.

Відомо [1], що стаціонарні у вузькому розумінні випадкові процеси є стаціонарними та у широкому розумінні – слабо стаціонарними процесами. У зворотному випадку, тобто із стаціонарності у широкому розумінні випадкового процесу, у загальному випадку не слідує стаціонарність у вузькому розумінні. Винятком є стаціонарний гауссівський процес, для якого стаціонарність у широкому і вузькому розуміннях стохастично еквівалентні.

Якщо аналіз випадкових процесів проводиться у рамках кореляційної теорії, тобто з урахуванням перших двох моментних функцій, а саме – математичного сподівання $a_1(t)$ - першого початкового моменту і кореляційної функції процесу $R(t_1,t_2)$, то кореляційна функція для нестаціонарного процесу $B(t_1,t_2)$ визначається за формулою

$$B(t_1,t_2)=R(t_1,t_2)+a(t_1)a(t_2).$$

Для стаціонарного, в широкому розумінні процесу, остання формула матиме вигляд

$$B(\tau)=R(\tau)+a_1^2.$$

У рамках кореляційної теорії для лінійних випадкових процесів мають місце наступні співвідношення мають вигляд:

$$v_1(t)=M\{\xi(\omega,t)\}=K_1[\eta(1)]\int_0^\infty\varphi(\tau,t)d\tau$$

$$R(t_1,t_2)=M\{[\xi(\omega,t_1)-M\{\xi(\omega,t_1)\}]\times[\xi(\omega,t_2)-M\{\xi(\omega,t_2)\}]\}=$$

$$=K_2[\eta(1)]\int_0^\infty\varphi(\tau,t_1)\varphi(\tau,t_2)d\tau,$$

де $K_j[\eta(1)], j=1,2$ – відповідні кумулянти j – го порядку випадкової величини $\eta(1)$.

Для стаціонарного лінійного випадкового процесу

$$\xi(\omega,t)=\int_0^\infty\varphi(t-\tau)\eta'(\omega,\tau)d\tau$$

співвідношення мають вигляд:

$$a(t) \equiv a_1 = \kappa_1[\eta(1)]\int_0^\infty \varphi(\tau, t)d\tau,$$

$$R(\tau) = \kappa_2[\eta(1)]\int_0^\infty \varphi(s+\tau)\varphi(\tau)d\tau.$$

Для кореляційної теорії випадкові процеси „білого шуму" використовуються як процеси з некорельованими (ортогональними) значеннями. У цьому класі процесів „білі шуми" з незалежними значеннями є його підмножиною.

Висновки

У роботі розглянуто основні положення використання вище наведених статистичних методів аналізу перетворень випадкових сигналів і перешкод у лінійних і нелінійних трактах автоматизованих системах управління при розв'язанні задач інформаційного моніторингу основних систем сигналів функціонування газотурбінної електростанції.

До основних методів інформаційного моніторингу сигналів функціонування газотурбінної електростанції віднесемо такі статистичні методи:

- стохастичних інтегральних перетворень лінійних випадкових процесів у лінійних і нелінійних трактах електронних систем;
- моделювання реалізацій лінійних випадкових процесів;
- тригонометричних інтерполяційних многочленів;
- статистичні обробки даних вимірювань.

Список літератури

1. *Давенпорт В.Б., Рут В.Л.* Введение в теорию случайных сигналов и шумов. – М.: ИЛ, 1969. – 468 с.

2. *Драган Я.П.* Структура и представление моделей стохастических сигналов. – К.: Наукова думка, 1980. – 384 с.

3. *Карлин С.* Основы теории случайных процессов. – М.: Мир, 1971. – 536 с.

4. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.

5. *Лоэв М.* Теория вероятностей. – М.: ИЛ, 1962. – 719 с.

6. *Марченко Б.Г., Щербак Л.Н.* Линейные случайные процессы и их приложения. – К.: Наукова думка, 1972. – 191 с.

7. *Марченко Б.Г.* Метод стохастических интегральных представлений и его приложение в радиотехнике. – К.: Наукова думка, 1973.– 191 с.

8. *Марченко Б.Г., Омельченко В.А.* Вероятностные модели случайных сигналов и полей в прикладной статистической радиофизике. – Киев: УМК ВО, 1988. – 176 с.

9. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин. – Киев: Наукова думка, 1992. – 196 с.

10. *Свешников А.А.* Прикладные методы теории случайных функций. 2-е изд. – М.: Наука, 1968. – 464 с.

11. *Соболь И.М.* Метод Монте-Карло. – М.: Наука, 1985. – 80 с.

СЕКЦІЯ 4.

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ І ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 004.896(045)

Е.И. Клюев, к.т.н., Е.И. Туз, ст. преподаватель, Е.А. Волкова, к.т.н.
(Национальный авиационный университет, Украина)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТУ

В статье рассмотрены основные подходы и методы, используемые при проектировании интеллектуальных систем. Предложена схема информационной системы и метод обработки информации, не имеющей определенного характера. На практическом примере показана возможность использования данного подхода при формировании требований к проектируемому объекту

Одна из проблем, с которой приходится сталкиваться экспертам при разработке технического задания на проектирование объекта исследования, заключается в том, что отсутствуют информационные системы обработки неточной информации. Использование экспертами методов обработки неточностей в информационных системах принятия решений позволило бы разработчикам технического задания более точно формировать численные значения параметров проектируемого объекта. В настоящее время в экспертных системах используется несколько методов, позволяющих быть точными в отношении неточностей, присущей человеку, или отсутствии полной информации [1]. В предлагаемой информационной системе используется метод, реализующий нечеткую логику, описанную Л.Заде и распространивший булеву логику на действительные числа [2]. В нечеткой логике кроме значения 1, представляющего истину и значения 0 представляющего ложь, используются также все дроби между 0 и 1, чтобы указать на частичную истину.

Примерами проектов, в которых могут быть использованы методы обработки неточной или нечеткой логики [2] могут быть: разработка нового продукта или услуги; проектирование нового программного продукта; разработка или приобретение новой или модифицированной информационной системы; реализация новой процедуры или процесса, связанного с бизнесом реализации или использования программного продукта.

Разработка оболочки информационной системы формирования требований к параметрам проектируемой системе предполагает создание компилятора с языка правил и рабочей системы. При описании базы правил информационной системы и последующего их представления в машинном виде наиболее эффективным методом моделирования является аппарат теории графов. Использование графов является удобным средством для представления структурированных знаний. Формальный аппарат описания структуры знаний базируется на различных видах графов, узлы которых хранят информацию о сущностях в форме записей, а дуги определяют взаимоотношение между этими сущностями.

Разработка модели базы правил, и представления ее в машинном виде на основании аппарата теории графов дает возможность вывести истинность или ложность утверждений путем организации опроса пользователей. Графически база правил представляет собой некоторое множество упорядоченных по смыслу прямоугольников, связанных между собой стрелками. Прямоугольники представляют собой гипотезы модели и являются либо целями, либо правилами, либо вопросами. Концевые вершины деревьев обязательно должны представлять собой вопросы. Все другие прямоугольники называются правилами.

Истинность или ложность каждого прямоугольника, представляющего цель или правило, выводится из истинности или ложности прямоугольников, на которые делается ссылка.

Для учета неопределенностей, определяющих вклад каждого фактора в некоторую гипотезу в модель правил должна вводиться некоторая неопределенность, которая может задаваться с помощью операторов, имеющих название функций принадлежности для нечетких множеств. Каждому фактору исследуемого параметра, введенного в систему с помощью вопроса, соответствует некоторое значение, находящееся в интервале [0,1], определяемое

функцией принадлежности. Для каждой промежуточной величины исследуемого параметра значение функции принадлежности находится в результате линейной интерполяции.

Имеется множество различных способов задания нечетких операторов типа И или ИЛИ. Независимо от выбранного типа операторов такие операторы в пределе должны вести себя как обычные булевы операторы, когда вероятности определяющих факторов стремятся к нулю или единице.

При реализации информационной системы формирования требований к параметрам проектируемой системы оператор И определяется как минимум, аналогично оператор ИЛИ определяется как максимум.

Использование аппарата нечеткой логики в информационной системе формирования требований позволяет повысить эффективность экспертных методов путем предоставления экспертам возможности формирования высказываний в некотором диапазоне альтернативных величин, описывающих значения параметра объекта.

Основными элементами аппарата теории нечетких множеств, использованными при проектировании информационной системы формирования требований являются понятия, обеспечивающие реализацию процесса принятия решения: множество альтернатив; множество ограничений, учитывающихся при выборе между различными альтернативами; функции принадлежности, ставящие каждой альтернативе в соответствие степень принадлежности этой альтернативы нечеткому множеству альтернатив.

На основе аппарата теории нечетких множеств разработана процедура принятия решений в расплывчатых условиях при формировании значений, определяющих требования к параметрам проектируемой системы.

Основными элементами этой теории являются понятия расплывчатой цели, расплывчатого ограничения и расплывчатого решения. Расплывчатая цель отождествляется с фиксированным расплывчатым множеством в соответствующем пространстве.

При использовании данного аппарата в качестве решения задачи выступает некоторое расплывчатое множество, определяемое как пересечение расплывчатых целей и расплывчатых ограничений, высказанных группой экспертов. Это решение может рассматриваться, как нечетко сформулированная инструкция, причем диапазон интервала расплывчатого решения может служить мерой степени согласования мнений экспертов. Использование понятий расплывчатой цели и расплывчатого ограничения позволяет формулировать значения показателей обобщенного мнения группы экспертов в установленных ими диапазонах возможных изменений параметров и ограничивающих условий задачи.

Возможность словесной формулировки экспертом расплывчатой цели и расплывчатого ограничения и представление их в качестве расплывчатого множества в одном и том же пространстве альтернатив является важным аргументом в пользу применения рассматриваемого метода при формировании обобщенного мнения экспертов о значениях параметров проектируемой системы.

Формальное описание метода принятия решения в условиях неопределенности можно найти в [2]. Важнейшим компонентом этого метода является представление расплывчатых целей G_i (i=1,n) и расплывчатых ограничений G_j (j=1,m), как расплывчатых множеств в пространстве альтернатив X с функциями принадлежности $\mu_{G_i}(x)$ и $\mu_{C_j}(x)$, соответственно. При этом подходе под решением понимается расплывчатое множество вида:

$$D = G_1 \bigcap G_2 \bigcap \ldots \bigcap G_n \bigcap C_1 \bigcap C_2 \bigcap \ldots \bigcap C_m ,$$

функция принадлежности которого определяется соотношением:

$$\mu_D(x) = \mu_{G_1}(x) \wedge \mu_{G_2}(x) \wedge \ldots \wedge \mu_{Gn}(x) \wedge \mu_{C_1}(x) \wedge \mu_{C_2}(x) \wedge \ldots \wedge \mu_{C_m}(x) . \quad (1)$$

Оптимальное решение, если оно существует, определяется как субнормальное подмножество $D^m \subset D$, задаваемое условием:

$$\mu_D(x) = \begin{cases} \max \mu_D(x) & для\ x \in k; \\ 0 & для\ x \in k, \end{cases}$$

где К - множество тех точек в пространстве альтернатив X, для которых функция $\mu_D(x)$ имеет максимальное значение.

Если не все входящее в множество D цели и ограничения одинаково важны, то следует ввести весовые коэффициенты, характеризующие относительную важность различных целей и ограничений, тогда для функция принадлежности $\mu_D(x)$ вместо соотношения (1) следует писать:

$$\mu_D(x) = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i(x)\mu_{G_i}(x) + \sum_{j=1}^{m} \beta_j(x)\mu_{C_j}(x), \qquad (2)$$

где α_i и β_j весовые коэффициенты функций принадлежности:

С учетом этого ограничения функции $\alpha_i(x)$ и $\beta_j(x)$ могут быть подобраны таким образом , чтобы передавать относительную важность целей G_1 , G_2 , … G_n и ограничений C_1 , C_2 , C_m. Формула (2) представляет известный способ сведения векторного критерия к скалярному критерию с помощью образования линейной комбинации компонент векторной функции цели.

Разработанная процедура принятия решений в расплывчатых условиях включаем следующие этапы:

1. Формирование набора лингвистических переменных, описывающих данные аналитических таблиц.

2. Формирование терм - множеств названий лингвистических переменных, описывающих данные аналитических таблиц.

3. Оценка функций принадлежности численных значений лингвистических переменных.

4. Принятие решений при формировании значений аналитических таблиц с помощью метода теории нечетких множеств.

Определение набора лингвистических переменных сводится к выработке перечня параметров, от которых зависят нечеткие описания этих параметров. В соответствии с определением лингвистической переменной, а также с требованиями к параметрам задачи формируется терм-множество $T(X_i)$ названий лингвистических значений для каждой лингвистической переменной X_i .

Выбор экспертом лингвистических значений из терм-множества осуществляется в соответствии с его представлениями о расплывчатой цели и расплывчатом ограничении для соответствующей переменной. Если, по мнению эксперта, терм-множество не содержит требуемых утверждений, то порождаются новые названия лингвистических значений.

Нечеткие ограничения лингвистической переменной могут быть представлены расплывчатыми множествами с соответствующими функциями принадлежности следующего вида:

$$\mu_{G_{11}}(u_0)(U) = \{0 \quad при \quad u < u_0 \ ; \quad (1 + (\frac{u - u_0}{15})^{-2})^{-1} \quad при \ u \geq u_0 \ ;$$

$$\mu_{G_{12}}(u_0)(U) = \{0 \quad при \quad u \geq u_0 \ ; \quad (1 + (\frac{u - u_0}{15})^{-2})^{-1} \quad при \ u < u_0 \ ;$$

$$\mu_{G_{13}}(u_0)(U) = \quad (1 + (\frac{u - u_0}{10})^{2})^{-0.5} \ ;$$

$$\mu_{C_{11}}(u_1,u_2)(U) = \left(1+\left(\frac{u-\frac{u-u_0}{2}}{15}\right)^2\right)^{-1},$$

где U , U_0 , U_1 , U_2 – элементы универсального множества, причем U_0 , U_1 , U_2 - определяют диапазон изменения значений нечетко описанных параметров задачи.

Для лингвистических значений, форма грамматики которых отличается от рассмотренных выше, выводятся другие соответствующие им соотношения.

Согласованность мнений экспертов, характеризующая предпочтительность тех или иных целей и ограничений, учитывается посредством коэффициентов, оказывающих влияние на результирующее решение. Здесь под решением понимается расплывчатое множество, функция принадлежности которого определяется соотношением:

$$\mu_D(u) = \sum_{j=1}^{n} \alpha_{ij}(u)\mu_{G_{ij}}(u) + \sum_{k=1}^{m} \beta_{ik}(u)\mu_{Cik}(u),$$

где $\alpha_{ij}(u)$ и $\beta_{ik}(u)$ - коэффициенты согласования мнений экспертов, причем

$$\sum_{j=1}^{n} \alpha_{ij}(u) + \sum_{k=1}^{m} \beta_{ik}(u) = 1.$$

В настоящее время разработано несколько версий информационной системы формирования требования к параметрам проектируемого объекта на основе аппарата нечеткой логики. Разработанные версии интеллектуальной информационной системы включают в следующие основные элементы: базу данных, модели обработки экспертных данных и интерфейс пользователей.

База данных содержит сведения о предметной области. Модели обработки экспертных высказываний обеспечивают формирование обобщенного мнения экспертов в исследуемой предметной области. Разработанный интерфейс обеспечивает взаимодействие экспертов с автоматизированной системой обработки высказываний.

Пользователь, на первом этапы работы с информационной системой посредством интерфейса, вызывает модуль формирования сценария, описывающий определенную предметную область. Информация, содержащаяся в базе знаний, обрабатывается реализованными в системе методами принятия решений, на основе которых формируются обобщенные решения о параметрах проектируемой системы. Интерфейс системы предоставляет найденные решения в доступной для пользователя форме.

Разработанный интерфейса обеспечивает возможность для пользователей системы естественный диалог на этапе ввода, обработки и формирования результирующих данных.

Работоспособность информационной системы формирования требования к параметрам проектируемого объекта проверена в условиях обработки реальных экспертных данных и может быть рекомендована в качестве инструмента, позволяющего формировать требования к параметрам проектируемого объекта при разработке технического задания.

Список литературы

1. *Экспертные системы. Принципы работы и примеры: Пер.с англ./ А. Брукинг, П. Джонс, и др.*; Под ред. Р.Форсайта. – М.: Радио и связь, 1987. – 224 с. Ил. (Кибернетика)

2. *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. «Мир», Москва, 1976.

УДК 681:51(045)

Н.М. Глазунов, д.ф.-м.н.
(Национальный авиационный университет, Украина)

ЭЛЕМЕНТЫ ОНТОЛОГИИ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ СИММЕТРИЙ

Метод проектирования онтологий формальной теории, основанный на теории категорий и методах гомологической алгебры, предложенный ранее автором, применяется для построения элементов онтологии алгебраических симметрий. Метод иллюстрируется на примере проектирования избранных онтологий предметной области «Группы и групповые объекты и их действие на многообразиях». Кратко рассматриваются теоретические основы метода.

Введение. Понятие онтологии как спецификации концептуализации находит все большее распространение в искусственном интеллекте и инженерии знаний [1]. Статья является продолжением работ автора (см. [2] и ссылки на литературу, приведенные в [2]), относится к тематике инженерии знаний и содержит описание элементов онтологии (алгебраических) симметрий. Под математическим представлением симметрий мы понимаем группы в классическом понимании, а также групповые объекты в соответствующих категориях. В терминах группы симметрия объекта означает инвариантность объекта относительно действия на него элементов этой группы. Категорная интерпретация симметрий представлена ниже. Как отмечают многие авторы [3-6], в современных научных исследованиях и их приложениях, наряду с исследованием и решением конкретных задач, “все возрастающую роль играют унифицирующие и объединяющие концепции …. Большинство этих концепций связано с понятиями категории и функтора …” [3-6]. Теоретико-категорные методы получают все большее распространение как в компьютерных науках, теоретическом программировании, так и при разработке новых программных систем [7]. Это связано с появлением новых научных задач, описание, а тем более исследование которых привычными теоретико-множественными методами проблематично, а иногда и попросту невозможно. В связи с этим ряд концептов онтологии симметрий, представленных в следующем разделе, имеет теоретико-категорное происхождение. В настоящее время по теории категорий имеется обширная литература, поэтому здесь мы кратко напомним (иногда просто упомянем) некоторые из нужных нам результатов (мы основываемся на работах [3-6]). Ниже мы используем понятия морфизма в категории и стрелки как синонимы.

Концепты алгебраических симметрий и их отношения. Ниже представлен связанный набор концептов избранной нами предметной области (ПО) с указанием связей между некоторыми из них, который является продолжением набора концептов из [2]. Он построен в результате лексического и математического анализа ПО «Группы и групповые объекты и их действие на многообразиях» на состояние к 2010 году, то есть анализировались тексты и рефераты статей ПО по 2010 год включительно. Мы используем следующие обозначения: в – отношение старшинства (вышестоящий концепт), н – отношение подчиненности (нижестоящий концепт), см – отображение ключевого слова в концепт, а – ассоциативное отношение, с – отношение синонимии. Концепты набраны прописными буквами. Ключевые слова набраны строчными буквами, гнездовые понятия (концепты) выделенными (bold) прописными буквами:

ГРУППА
в - АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
н - ГРУППА АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ
ГРУППА КОНЕЧНАЯ
ГРУППА ЛИ
ГРУППА ФОРМАЛЬНАЯ
а - ГРУППА С ОПЕРАТОРАМИ

СХЕМА ГРУППОВАЯ

ГРУППА АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ
в - ГРУППА
н - ГРУППА ПРОАЛГЕБРАИЧЕСКАЯ
а - ГРУППА КВАЗИАЛГЕБРАИЧЕСКАЯ
- СХЕМА ГРУППОВАЯ

группа аналитическая
см ГРУППА ФОРМАЛЬНАЯ

ГРУППА ВИТТА
в - ГРУППА

ГРУППА ГАЛУА
в - ГРУППА

ГРУППА ГОМОЛОГИЙ
в - ГРУППА

ГРУППА КВАЗИАЛГЕБРАИЧЕСКАЯ
в - ГРУППА АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ
н - СХЕМА ГРУППОВАЯ

ГРУППА КОГОМОЛОГИЙ
в - ГРУППА

ГРУППА КОММУТАТИВНАЯ - МЕРНАЯ
в - ГРУППА ФОРМАЛЬНАЯ КОММУТАТИВНАЯ

ГРУППА КОММУТАТИВНАЯ ОДНОМЕРНАЯ
в - ГРУППА ФОРМАЛЬНАЯ КОММУТАТИВНАЯ

ГРУППА КОНЕЧНАЯ

в - ГРУППА
а - СХЕМА ГРУППОВАЯ КОНЕЧНАЯ

ГРУППА ЛИ
в - ГРУППА
а - СХЕМА ГРУППОВАЯ

группа локальная
см ГРУППА ФОРМАЛЬНАЯ

ГРУППА ПРОАЛГЕБРАИЧЕСКАЯ
в - ГРУППА АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ
а - СХЕМА ГРУППОВАЯ

КАТЕГОРИЯ АФИННЫХ К - ГРУПП
в - КАТЕГОРИЯ

КАТЕГОРИЯ К - ГРУПП
в - КАТЕГОРИЯ
н - КАТЕГОРИЯ АФИННЫХ К - ГРУПП
КАТЕГОРИЯ ФОРМАЛЬНЫХ К - ГРУПП

МНОГООБРАЗИЕ
н - АБЕЛЕВО МНОГООБРАЗИЕ
АЛГЕБРАТИЧЕСКОЕ МНОГООБРАЗИЕ
АНАЛИТИЧЕСКОЕ МНОГООБРАЗИЕ
АФФИННОЕ МНОГООБРАЗИЕ
МНОГООБРАЗИЕ ПИКАРА
ЯКОБИЕВО МНОГООБРАЗИЕ

МНОГООБРАЗИЕ ПИКАРА
в - МНОГООБРАЗИЕ

ПОДГРУППА
в - ГРУППА
н - ПОДГРУППА ЗАМКНУТАЯ
ПОДГРУППА КОНЕЧНАЯ
ПОДГРУППА ОТКРЫТАЯ

ПОДГРУППА ЗАМКНУТАЯ
в - ПОДГРУППА

ПОДГРУППА КОНЕЧНАЯ
в - ПОДГРУППА

ПОДГРУППА ОТРЫТАЯ
в - ПОДГРУППА

ТЕОРИЯ
н - ТЕОРИЯ ГАЛУА
ТЕОРИЯ ГРУПП ЛИ
ТЕОРИЯ КАТЕГОРИЙ
ТЕОРИЯ ФОРМАЛЬНЫХ ГРУПП

ТЕОРИЯ ГАЛУА
в - ТЕОРИЯ
а - ГРУППА ГАЛУА

ТЕОРИЯ ГРУПП ЛИ
в - ТЕОРИЯ
а - ГРУППА ЛИ

СХЕМА ГРУППОВАЯ
в - СХЕМА
н - СХЕМА АФФИННАЯ ГРУППОВАЯ
н - ГРУППА ФОРМАЛЬНАЯ
а - ГРУППА АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ

ЯКОБИЕВО МНОГООБРАЗИЕ

в - МНОГООБРАЗИЕ

Рассмотрим категорификацию онтологий на примерах концептов **СХЕМА ГРУППОВАЯ и** СХЕМА АФФИННАЯ ГРУППОВАЯ.

Теоретико-категорная модель. Теоретико-категорная модель основывается на концептах: коммутативное кольцо с 1, обозначаемое A; топологическое пространство $Spec\ A$; точки пространство $Spec\ A$; топология на пространстве $Spec\ A$; замыканием $\{\bar{x}\}$ точки x; нетерово топологическое пространство; структурный пучок на $Spec\ A$; окольцованное пространство; аффинная схема; схема; произведение схем над схемой; схема аффинная групповая; замкнутая подсхема; схема групповая; морфизм групповых схем.

Теоретико-категорное представление концептов. Рассмотрим концепт СХЕМА ГРУППОВАЯ. Пусть $h: X \to$-схема над схемой S. Задать групповую схемы на X означает задать три морфизма схем μ, ε, i, означающих соответственно групповой закон

$$\mu: X \times_S X \to X;$$

единичный элемент

$$\varepsilon: S \to X,$$

такой, что $h \circ \varepsilon = 1$,

причем должна выполняться ассоциативность морфизма μ: $\mu \cdot (\mu, 1) = \mu \cdot (1, \mu)$;

и обратный элемент

$$i: X \to X,$$

удовлетворяющие соответствующим свойствам.

Выводы

Опыт применения теоретико-категорного метода для проектирования онтологий формальной теории на примере онтологий предметной области «Группы и групповые объекты и их действие на многообразиях» свидетельствует о перспективности метода для проектирования онтологических баз знаний и необходимости проведения дальнейших исследований.

Список литературы

1. *Ganter B., Stumme G., Wille R.* Formal Concept Analysis: Foundations and Applications, Lecture Notes in Artificial Intelligence, no. 3626, Springer-Verlag, 2005. – 380 p.

2. *Глазунов Н.М.* Теоретико-категорный метод проектирования онтологий формальной теории / Материалы IX международной научно-технической конференции «ABIA-2009» - Киев: НАУ, 2009 Т.1. С.5.26-5.29.

3. *Шафаревич И.Р.* Основы алгебраической геометрии. - Т2. - М.: Наука, 1988. - 304 с.

4. *MacLane S.* Categories for the working mathematician. Graduate texts in mathematics 5. - N.Y.: Springer-Verlag, 1971. – 380 p.

5. *Касивара М., Шапира П.* Пучки на многообразиях. М.: Мир, 1997.- 655 с.

6. *Гельфанд С.И., Манин Ю.И.* Методы гомологической алгебры. М.: Наука, 1988. – 416 с.

7. *Ehrig H., Groke-Rhode M., Wolter U.* Applications of category theory to the area of algebraic specification in computer science // Appl. Categ. Struct. - 1998.- 6.- No.1. - P.1-35.

УДК 004.415.538(045)

І.С. Ясенова, кандидат технічних наук
О.В. Тегельман, О.В. Щур,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ТЕСТУВАННЯ БАЗ ДАНИХ ЯК НЕВІД'ЄМНИЙ ЕТАП СТВОРЕННЯ ТА СУПРОВОДУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В статті піднімається проблема необхідності тестування баз даних як частини інформаційних систем на етапах розробки та супроводу. Велика увага звернена на тестування БД на початкових етапах розробки системи та на етапах, що пов'язані з супроводом. Піднімається проблема наявності спеціалізованих середовищ для проведення тестування.

Перспективи розвитку сучасного суспільства тісно пов'язані з глобальним використанням інформації. Інформація як носій знань стала стратегічним фактором, який впливає на структуру всієї економіки та суспільного життя і в кінцевому етапі визначає темпи розвитку всього суспільства.

Інформатизація сучасного суспільства представляє собою експонентціально зростаюче виробництво, переробку та використання великих масивів інформації у всіх сферах життєдіяльності. Поряд з пришвидшеними темпами розвитку комп'ютерної техніки, інформаційні технології (ІТ) в області створення інформаційних систем (ІС) та додатків баз даних (БД) , здійснили за останні роки значний стрибок вперед.

На даному етапі розвитку ІТ існує велика кількість різних ІС, наприклад, ERP (Enterprise Resource Planning System) , CRM (Customer Relationship Management System) , HRM (Human Resource Management) та інші. Складовою частиною таких систем зазвичай є БД, яка охоплює широкий набір функціональних та організаційних аспектів, при цьому створюючи вузьке місце у всій системі та потребує тестування.

Тестування БД дає можливість виявити переважну більшість критичних місць розроблювальної ІС та перевірити всі механізми, що повинні забезпечити цілісність та конфіденційність даних. Воно проводиться не лише під час розробки системи та схеми БД, але також на етапі супроводу, що пояснюється зміною вимог до системи зі сторони замовника або виявленням помилок в роботі тощо.

Тестування БД поділяється на наступні види:

- Тестування логічної моделі:
  - Перевірка моделі на логічну узгодженість і відсутність інформації, що повторюється;
  - Пошук можливостей для спрощення логічної моделі.
- Тестування логічної схеми бази даних:
  - Тестування на відповідність нормальним формам (зазвичай третьої);
  - Тестування на узгодженість бази;
  - Тестування для виявлення даних, що перебувають в надлишку.
- Тестування фізичної структури бази даних:
  - Аналіз і настроювання покриття індексу;
  - Аналіз системи зберігання даних (табличні області (Oracle, DB2), масивів даних і груп файлів (MS SQL));
  - Аналіз політики безпеки та розробка пропозицій щодо її поліпшення;
  - Аналіз та реалізація розподілу бази даних;
  - Аналіз та реалізація стратегії реплікації;
  - Аналіз та реалізація стратегії резервного копіювання.
- Тестування бази даних на можливість програмування:
  - Аналіз ефективності процедур і тригерів;

- Оптимізація запитів;
- Аналіз ефективності клієнтського додатку.

Для того, щоб ефективно проводити тестування БД, розробляється план тестування, який містить в собі опис стратегій, які будуть використовуватись для проведення тестування, а також формується тестовий набір даних. Все це відбувається на етапі проектування БД. Велику увагу при цьому приділяють формуванню тестового набору даних, оскільки заповнення БД даними може тягнути за собою додаткові фінансові та людські ресурси. Для автоматизації цього процесу використовується широкий набір прикладного програмного забезпечення, що дає можливість не лише скоротити витрати, а також пришвидшити сам процес генерації даних для тестування.

На початкових етапах розробки ІС значну увагу приділяють тестуванню БД, яка розробляється паралельного з системою. Це дає можливість практично повністю покрити тестами весь функціонал системи, який містить в собі звернення до БД. Також це сприяє виявленню критичних місць в самій схемі БД, наприклад, невідповідність нормальним формам(тестування логічної схеми), громіздкі запити до БД, що значно сповільнюють роботу всієї системи або окремих її частин тощо.

На даному етапі розвитку ІТ-індустрії дуже широко використовуються еволюційні підходи до розробки ПЗ, що часто називаються адаптивними. Ці методи також застосовуються і для розробки БД, коли схема розробляється не до початку розробки проекту ІС, а нарощується з часом, паралельно до розробки системи.

Переваги у застосуванні еволюційного підходу до розробки БД в наступному:

- Мінімізація невиправданих затрат;
- Попередження необхідності в суттєвих доробках;
- Постійна впевненість в наявності робочої системи;
- Постійна впевненість в тому, що існуючий на даний момент проект бази даних володіє найвищою якістю;
- Зменшення загальної трудомісткості.

Одним з підходів еволюційної розробки є метод створення тестів до початку розробки(Test-First Development – TFD). Цей метод передбачає підготовку тестів, невдале завершення яких буде вказувати на наявність помилок, ще до початку роботи по розробці основного функціоналу. На рис. 1 приведено схему TFD-тестування.

Це тестування складається з декількох етапів, опис яких подано нижче:

1. Прискорене створення тестів з метою невдалого завершення тестування на момент створення через відсутність потрібного функціоналу.
2. Виконання підготовлених тестів для перевірки того, що новий тест закінчується провалом.
3. Оновлення функціоналу таким чином, щоб він проходив тест.
4. Повторення виконання всіх тестів. Якщо тест не проходить, то відбувається повернення до кроку 3, а в іншому випадку - до початку циклу.

Перевагами такого методу при тестуванні як системи в цілому, так і БД, яка є її частиною, в тому, що завжди можна бути впевненим в наявності тестів, за допомогою яких можна виконати перевірку якості виконаної роботи; а також вона дає впевненість в тому, що подальший розвиток системи можливий. В кінцевому випадку це тестування дає регресійний набір тестів для БД, який можна виконувати над неї при внесення будь-яких змін.

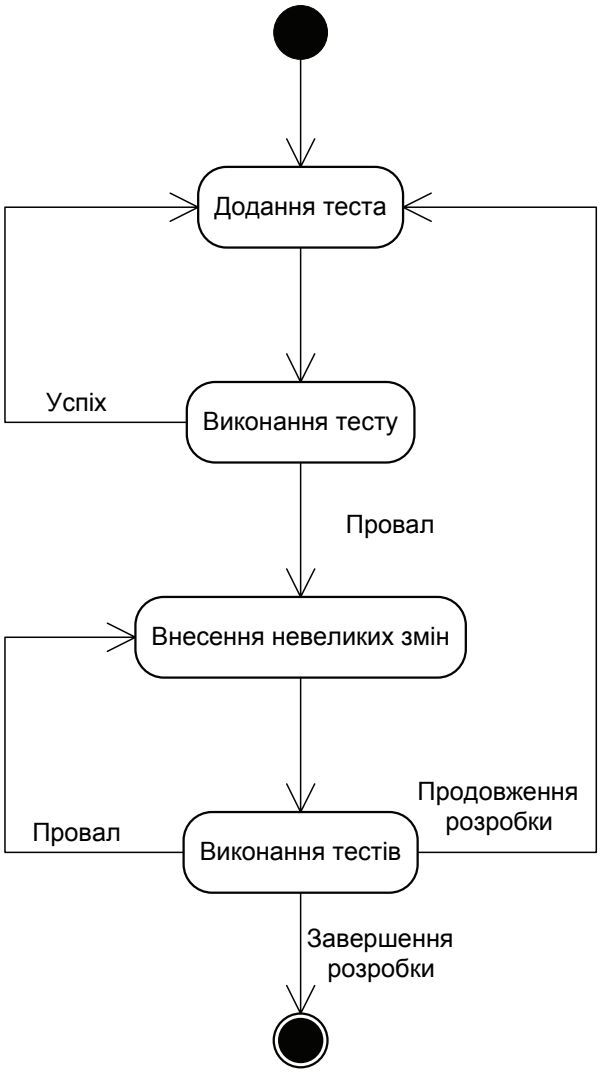


Рис. 1. Схема TFD-тестування

Значу увагу приділяють також тестуванню БД не лише на етапах розробки ІС, але і на етапах супроводу. Це пояснюється тим, що саме на етапі супроводу вже готового програмного продукту, виявляються критичні місця, які не були виявленими на етапах розробки та тестування, або ж замовник змінив вимоги до системи й хоче, щоб ці вимоги були реалізовані. Цей процес внесення змін до БД на етапі супроводу отримав назву рефакторінг БД – внесення простих змін в схему БД, які покращують її проект, зберігаючи незмінною інформаційну та поведінкову семантику БД.

Для того, щоб можна було вносити зміни в існуючу ІС, або для додання нового функціонального засобу, потрібно мати можливість перевірити те, що після проведення потрібних змін всі програми продовжують успішно функціонувати. Іншими словами, потрібно передбачати можливість виконання в системі повного регресійного тестування. Якщо при цьому буде виявлено, що відбулось порушення в роботі якого-небудь компоненту, повинна існувати можливість усунути порушення, що виникло, або виконати відкочування змін. При цьому значну увагу потрібно приділяти тестуванню БД, адже важлива бізнес-логіка реалізується в БД в формі процедур, правил перевірки даних та правил цілісності посилань, і очевидно, що ця бізнес-логіка потребує детального тестування.

Впевненість в тому, що зміни, які були внесені в схему БД правильні, з’являється, якщо можливо легко переконатись, що база даних як і в минулому коректно працює із зовнішніми програмами після внесення змін. Потенційно, може виникнути потреба написання тестів, що виконують наступне:

- Перевірку схеми бази даних – повинні існувати тести, які розроблені для БД та які будуть давати можливість протестувати тригери, функції, обмеження цілісності, визначення представлень тощо.

- Перевірку зовнішніх програм доступу – повинні існувати тести, які дадуть можливість перевірити правильність функціонування програм після накладення змін на схему БД.

Для багатьох спеціалістів підхід, що передбачає тестування БД, є незвичним, тому їм доводиться стикатись з різними проблемами, серед яких:

- Недостатні навики тестування, які можна компенсувати завдяки сумісній роботі з спеціалістами, що маю володіють хорошими навиками тестування.
- Недостатній асортимент компонентних тестів для БД, що пояснюється незначним поширенням підходу заснованого на тестуванні БД, а тому зростає ймовірність того, що тестовий набір для схеми буде недостатнім.
- Недостатній асортимент інструментальних засобів тестування БД.

Також дуже важливо, щоб на етапі супроводу ІС, зміни до схеми БД, що будуть вноситись, були невеликими. Тестувати такі зміни найпростіше, що дає можливість не лише швидко переходити до внесення наступних змін, але також і виявляти причини некоректної роботи системи після внесення змін та усувати всі несправності.

Висновки

Швидкі темпи розвитку ІТ-індустрії диктують нові вимоги до розробки ІС. Від них вимагається найвищий рівень якості, гнучкість та легкість супроводу. Це відносить не лише до ІС як до програмного продукту, але також і до БД, які є невід'ємною частиною системи. Розпочинаючи з перших етапів розробки ІС та закінчуючи етапами супроводу, коли до системи можуть бути внесенні зміни, схема БД потребує тестування. На ранніх етапах розробки воно дає можливість швидко виявляти критичні місця , реагувати на них та усувати їх. На більш пізніх етапах (стадія супроводу) в процесі експлуатації виявляються або критичні місця, або функціонал, робота якого є некоректною. В такому випадку тестування БД дає можливість перевірити те, що після внесення змін до схеми бази даних з метою виправлення всіх дефектів, БД та програмне забезпечення, що з ним зв'язане, працюють коректно.

Процес проведення тестування БД не є одноманітним. Він вимагає наявності досить великого об'єму тестових даних, хороших навиків тестування у спеціалістів, які будуть його проводити, а також наявності спеціалізованих середовищ тестування(спеціалізовані програмні продукти), що дасть змогу більш швидко та якісно проводити тестування.

Список літератури

1. *Скотт В.Эмблер, Прамодкумар Дж. Садладж*. Рефакторинг баз данных - эволюционное проектирование.: Пер. с англ. –М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2007. –672 с.

2. *Мещериков С.В., Иванов В.М.* Эффективные технологии создания информационных систем. – СПб.: Политехника, 2005. – 309 с.

3. *Рекс Блэк*. Ключевые процессы тестирования. Планирование, подготовка, проведение, совершенствование. – М.: «Лори», 2006. – 544 с.

4. *Савин Р.* Тестирование Дот Ком, или Пособие по жестокому обращению с багами в интернет-стартапах. – М.: «Дело», 2007. – 312 с.

УДК 005.8:316.772.2(045)

І.С. Ясенова, кандидат технічних наук, А.В. Підгорна
(Національний авіаційний університет, Україна)

УПРАВЛІННЯ КОМУНІКАЦІЯМИ ПРОЕКТУ

Піднімається питання важливості комунікацій в колективі, що прагне досягти поставленої мети. Наголошується, що якість комунікацій вливає на ефективність роботи усього колективу. Розкривається сутність поняття «комунікації» та «комунікаційного процесу». Наводяться методи результативного планування комунікацій.

Комунікації мають величезне значення для успіху діяльності підприємств і представляють одну із складних проблем менеджменту. Ефективно працюючими керівниками вважають тих, хто ефективний в комунікаціях. Менеджери повинні досконало володіти мистецтвом комунікації. Роль комунікацій очевидна на малих фірмах, в потужних компаніях та корпораціях. Від ефективності комунікаційних зв'язків і взаємодій залежить майбутнє підприємства, та людей, що працюють на даному підприємстві, а на глобальному рівні і благополуччя всієї країни в цілому.

Комунікація (лат. Communicatio) – це процес обміну ідеями та інформацією між двома і більше людьми.

Цілі комунікацій:

1. Забезпечення ефективного обміну інформацією між суб'єктами і об'єктами управління.
2. Удосконалення міжособистісних відносин в процесі обміну інформацією.
3. Створення інформаційних каналів для обміну інформацією між окремими працівниками та групами та координації їх завдань і дій.
4. Регулювання та раціоналізація інформаційних потоків.

Комунікації поділяються на види: міжособистісні або організаційні комунікації на основі усного спілкування; комунікації на основі письмового обміну інформацією. Міжособистісні комунікації діляться на: формальні чи офіційні; неформальні комунікації.

Типова інформація, що передається по каналах неформальних комунікацій: майбутні скорочення виробничих робітників, нові заходи з покарань за запізнення, зміну в структурі організації, переміщення і підвищення, докладний виклад суперечки двох керівників на останній нараді зі збуту, хто кому призначає побачення після роботи і т . д.

Серед формальних організаційних комунікацій виділяють: вертикальні, коли інформація переміщується з одного рівня ієрархії на інший; горизонтальні між різними підрозділами, які призначаються для координації діяльності різних підрозділів.

Вертикальні комунікації поділяються на: висхідні(інформація передається знизу вгору); спадні(інформація передається зверху вниз).

Міжособистісні комунікації ділять на: вербальні (словесні); невербальні.

Вербальні і не вербальні форми комунікацій не завжди і не обов'язково виключають один одного. Інтерпретація одержувачем послання будується на словах, на жестах і виразах обличчя.

Комунікаційний процес - це процес обміну інформацією між двома або більше людьми. Його мета - забезпечити передачу і розуміння інформації. Комунікаційний процес - це взаємодія сукупності елементів.

Існує чотири базових елементи комунікаційного процесу:

1. Відправник - особа, що генерує ідею або збирає інформацію і передає її;
2. Повідомлення - безпосередньо інформація;
3. Канал - засіб передачі інформації (усна передача, наради, телефонні переговори, письмова передача, службові записки, звіти, електронна пошта, комп'ютерні мережі);
4. Одержувач (адресат) - особа, якій призначена інформація і яка інтерпретує її.

Комунікаційний процес обміну інформацією включає взаємопов'язані етапи:

1. Зародження ідеї або відбір інформації;
2. Вибір каналу передачі інформації;
3. Передача повідомлення;
4. Інтерпретація повідомлення.

Процеси управління комунікаціями

Управління комунікаціями забезпечує підтримку системи зв'язку (взаємодій) між учасниками проекту, передачу управлінської та звітної інформації, спрямованої на забезпечення досягнення цілей проекту. Кожен учасник проекту повинен бути підготовлений до взаємодії в рамках проекту відповідно до його функціональних обов'язків.

Функція управління інформаційними зв'язками включає в себе такі процеси:

1. Планування системи комунікацій - визначення інформаційних потреб учасників проекту (склад інформації, терміни і способи доставки).
2. Збір і розподіл інформації - процеси регулярного збору та своєчасної доставки необхідної інформації учасникам проекту.
3. Оцінка і відображення прогресу - обробка фактичних результатів стану робіт проекту, співвідношення з плановими і аналіз тенденцій, прогнозування.
4. Документування ходу робіт - збір, обробка та організація зберігання формальної документації за проектом.

Планування системи комунікацій

Для вивчення потреб і опису структури системи комунікацій потрібно наступна інформація:

1. Логічна структура організації проекту і матриця відповідальності.
2. Інформаційні потреби учасників проекту.
3. Фізична структура розподілу учасників проекту.
4. Зовнішні інформаційні потреби проекту.

Технології або методи розподілу інформації між учасниками проекту можуть відрізнятися в залежності від параметрів проекту і вимог системи контролю.

Вибір технологій взаємодій визначається: Ступенем залежності успіху проекту від актуальності даних або детальності опису доступності технології, а також кваліфікацією і підготовленістю кадрів.

План управління комунікаціями включає в себе:

1. План збору інформації(визначаються джерела інформації і методи її одержання)
2. План розподілу інформації(визначаються споживачі інформації і методи доставки)
3. Детальний опис кожного документа(повинен бути отриманий або переданий, включаючи формат, зміст, рівень детальності й використовувані визначення)
4. Розклад і частота взаємодій.
5. Метод внесення змін до плану комунікацій.

У залежності від потреб проекту, план комунікацій може бути формалізований, деталізований або описаний лише в загальному вигляді. План комунікацій є складовою частиною плану проекту.

Оцінка і відображення прогресу.Процеси збору та обробки даних про досягнуті результати, фактичні витрати і відображення інформації про стан робіт у звітах забезпечують основу для координації робіт, оперативного планування і управління.

У процесі реалізації проекту менеджерам доводиться оперувати даними, що зібрані і організовані з використанням комп'ютера. Багато аналітичних коштів(розрахунок графіка за методом критичного шляху, ресурсний та вартісний аналіз) складні для неавтоматизованого розрахунку.

В даний час на ринку представлено значну кількість програмних пакетів, що автоматизують функції планування і контролю календарного графіка виконання робіт. В основі даних пакетів лежать методи сітьового планування і аналізу критичного шляху. Існують спеціалізовані пакети для планування та контролю витрат проекту. Пакети календарного планування є основою для створення інформаційної системи управління проектом.

Збір і розподіл інформації. Системи збору і розподілу інформації повинні забезпечува-

ти потреби різних видів комунікацій. Для цих цілей використовуються автоматизовані і неавтоматизовані методи збору, обробки і передачі інформації.

Неавтоматизовані методи включають збір і передачу даних на паперових носіях, проведення нарад. Автоматизовані методи передбачають використання комп'ютерних технологій і сучасних засобів зв'язку для підвищення ефективності взаємодії.

Комп'ютерні засоби підтримки комунікацій грунтуються на використанні програмного забезпечення групової роботи - групового ПЗ (groupware) і електронного документообігу. В останні роки даний напрямок інформаційних технологій стрімко розвивався, що пов'язано з підвищенням ефективності засобів зв'язку.

Документування ходу робіт. Основні проміжні результати перебігу робіт повинні бути формально задокументовані. Документування результатів ходу робіт включає в себе: збір і верифікацію остаточних даних; аналіз і висновки про ступінь досягнення результатів проекту й ефективності виконаних робіт; архівування результатів з метою подальшого використання.

Комп'ютерні системи ведення електронних архівів дозволяють автоматизувати процеси зберігання та індексації текстових і графічних документів, полегшують доступ до архівної інформації. Найбільш типовою для погано керованих проектів є ситуація, коли команда підрядника на тривалий час «занурюється» в роботу, не інформуючи замовника про хід її виконання. Там, де великі ризики і мова йде про тривалий та дорогий проект, будь-який документ рідко може повністю описати, що отримає в результаті замовник. Всі моменти, пов'язані з управлінням комунікаціями, зафіксовані в статуті проекту.

Вибудовуючи схему управління комунікаціями та будуючи матриці інформованості (звітності) і відповідальності за інформацію, треба задаватися питаннями: хто, що і кому? Це дозволяє визначити, який документ готується, кому і з якою регулярністю направляється, хто виконує, узгодить, затверджує, а кого просто ставлять до відома. Регулярно отримуючи необхідні відомості, замовник завжди може втрутитися в процес, якщо поточні результати суперечать його очікуванням.

Планування процесів комунікації. Весь проект поділяється на фази: ініціація, планування, управління, моніторинг, аналіз та завершення. На ранніх стадіях, коли контракт ще не укладений, до переговорів з потенційним замовником рекомендується підключати майбутнього керівника проекту (саме він займається попереднім розрахунком витрат). Важливо продемонструвати замовнику хід виконання проекту з точки зору взаємодії сторін і команд. У плані проекту повинні бути відображені всі завдання

1. статус-звіти;
2. статус-мітинги;
3. наради керуючого комітету;
4. регулярні телефонні конференції;
5. звіти керівництву своєї компанії;
6. фінансова звітність;
7. звітність, необхідна державними органами (якщо є);
8. звітність про завершення проекту і т. д.

Якщо керівник не вписав будь-яке завдання в план, що складається із сотень пунктів, то в разі довготривалого проекту можна випустити з уваги щось важливе. Статус-звіти і статус-мітинги, або «Давайте частіше зустрічатися!». Як часто потрібно робити статус-звіти? Інформація про раніше заплановані і нині виконані роботи, задіяні ресурси, моніторинг ризиків. Ймовірність появи ризиків і ступінь їх впливу на проект визначаються на самому початку. Якщо проект великий і ризиків багато, призначаються відповідальні особи, які «моніторять» кожен ризик та надають учасникам проекту важливу і своєчасну інформацію. Якщо в статус-звіті присутня інформація, що несе в собі елементи комерційної таємниці, то повна версія надсилається керівництву компанії, скорочена замовнику.

Що стосується звітності по ресурсах? Присутній тісний взаємозв'язок між управлінням персоналом та комунікаціями. Керівник проекту в організації повинен заздалегідь набирати

команду, повинен оцінювати і підвищувати якість роботи персоналу. Важливою складовою частиною управління комунікаціями являється взаємодія з ресурс-менеджерами.

Статус-мітинги потрібно проводити регулярно. Учасники проектної команди обмінюються подробицями поточної роботи, виявляють проблеми, що вимагають колективного рішення, розподіляють подальші обов'язки. У випадку «віддаленого» проекту статус-мітинги замінюються телефонними конференціями.

Зустрічі «один на один» із ключовими зацікавленими особами дають суттєвий результат. Між зустрічами і звітами необхідно підтримувати зв'язок один з одним в режимі он-лайн.

Правила проведення ефективної наради. Існують спеціальні тренінги на тему «Як правильно проводити наради». Треба дотримуватись основних принципів:

1. нарада має бути проведена в строго призначений час
2. першим пунктом обговорення має бути порядок денний, що розсилається заздалегідь і затверджується всіма учасниками наради
3. якщо під час наради виникають питання, на які неможливо знайти відповідь за п'ять хвилин, то їх слід зафіксувати і внести до порядку денного наступної наради
4. краще всього проводити годинні наради
5. Ніколи не слід переходити на особистості. Критикуючи ідеї, не критикуйте людей!

Архівування досвіду, або навіщо винаходити велосипед. Щоб кожного разу не винаходити велосипед, досвід простіше архівувати, складати в корпоративну базу знань, в найпростішому вигляді - в файлове сховище, у більш «просунутому» - в спеціалізовану інформаційну систему управління документами.

Все це наповнюється в оперативному порядку. Коли проект закінчиться, залишиться лише відокремити «зерна від плевели», тобто зберегти ті частини, які можна використовувати повторно в нових проектах.

Вибір ПЗ для підтримки процесів комунікації залежить від величини проекту, вартості та чисельного складу проектної команди.

Проект успішно завершено - комунікації тривають!

Про завершення проекту необхідно оголосити зовнішньому світу. Існують маркетингові комунікації, управління якими входить в обов'язок керівника проекту з боку виконавця. Для замовника оголошення результатів вдалого проекту є важливим,оскільки в нього свої клієнти і їм необхідно продемонструвати і свою інноваційність, і прагнення до вдосконалення бізнес-процесів для поліпшення обслуговування / взаємодії з клієнтами.

У маркетингові комунікації входять:

1. новини проекту з позитивним маркетинговим ефектом;
2. випуск маркетингових матеріалів, листівок, буклетів;
3. показ потенційним клієнтам рекомендаційних листів, відгуків та свідоцтв;
4. неформальне спілкування: дискусії на тему проекту, внутрішні «круглі столи», семінари за участю преси, представників потенційних замовників.

Висновки

Управління комунікаціями забезпечує підтримку системи зв'язку (взаємодій) між учасниками проекту, передачу управлінської та звітної інформації, спрямованої на забезпечення досягнення цілей проекту. Комп'ютерні засоби підтримки комунікацій грунтуються на використанні програмного забезпечення групової роботи - групового ПЗ (groupware) і електронного документообігу.Від ефективності комунікаційних зв'язків і взаємодій залежить майбутнє підприємства, та людей, що працюють на даному підприємстві.

Список літератури

1. *Завадський Й.С.* Менеджмент: «Management». – 2-е. вид. – К.: Українсько-фінський інститут менеджменту і бізнесу, 1998. – 542 с.

2. *Палеха Ю.І., Кудін В.О.* Культура управління та підприємництва: Навчально-методичний посібник. – К.: МАУП, 1998. – 96 с.

3. *Черкасов В.В., Платонов С.В., Третьяк В.И.* Управленческаядеятельность менеджера. Основыменеджмента. – К.: Ваклер, 1998. – 465 с.

УДК: 004.415(043.2)

Rasul Falaki, Arash Ayati
(Research institute of Green Petrol Ltd, Ukraine),
Sergii Kotla, Assistant Professor
(National University of Ukraine)

OBJECT ORIENTED PROGRAMMING ARCHITECTURE FOR NEURAL NETWORK MODULES ABSTRACT ARCHITECTURE FOR ROBOT SOFTWARE REALIZATION

An abstracted design of intelligent software constructed of NN modules is investigated. The root of the design is in general three-tire architecture that separates presentation from data and processing model as in MVC [4]. Having NN module designed at hand, the question of the placement of such modules in the architecture of the whole system is faced. Designing software systems that hold the famous principles of Object Oriented Programming known as encapsulation, polymorphism and inheritance, is crucial even for the simplest tasks. The goal of authors is to come to an abstract architecture that lets the programmer to place the NN module in it and have the communication between it and all other parts of the code organized so that to hold the OOP principles realized.

Introduction. Neural Network programming is the microscopic-induction approach of soft computing in the body of Artificial Intelligence [1], directly inspired from biological systems.

The NN programming involves same general steps of requirement analysis, design, implementation, process studying and deployment, together known as 4+1 view [5]. A process based on these views usually ends up with architecture over the whole system that maintains the OOA/D principles in the system evolution. The investigation, discovery, reuse and hybrid combination of such architectural models has been a known practice in software engineering and is taking place also for NN software development. As an example, Dart, Senyar and Sterling [2] present a unified framework in the form of an extension to the capability maturity model [3] which is known as the neural network process model (NNPM). Authors provide the result of investigating an effective behavioral based abstract architecture for robotic software development.

Neural Network Mathematical considerations

Incoming signal of the robot data model are depicted to the formula (1)

$$y = \omega_0 + \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \ldots + \omega_n x_n \quad (1)$$

$$y = \sigma(\omega_0 + \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \ldots + \omega_n x_n) \quad (2)$$

Our activation sigma function defined as (2). For the purpose of demonstration in this article we use the sigmoid function as our activation which has together with derivative is defined:

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3)$$

$$\sigma'(x) = \frac{e^{-x}}{(1+e^{-x})^2} \quad (4)$$

The graph of them:

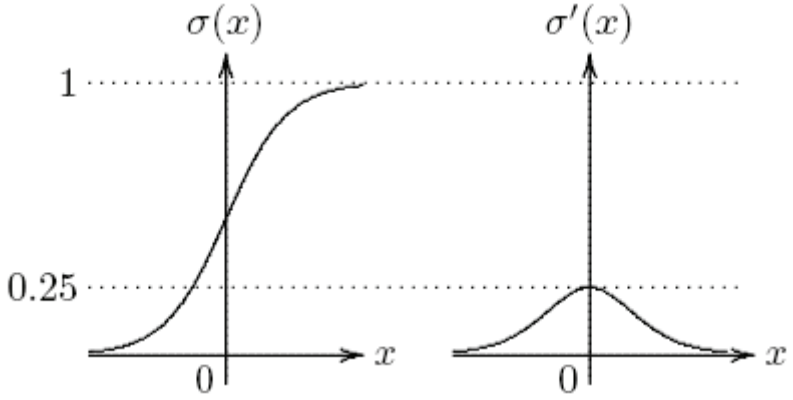


Fig. 1, Graph of activation functions

The general NN model will be as:

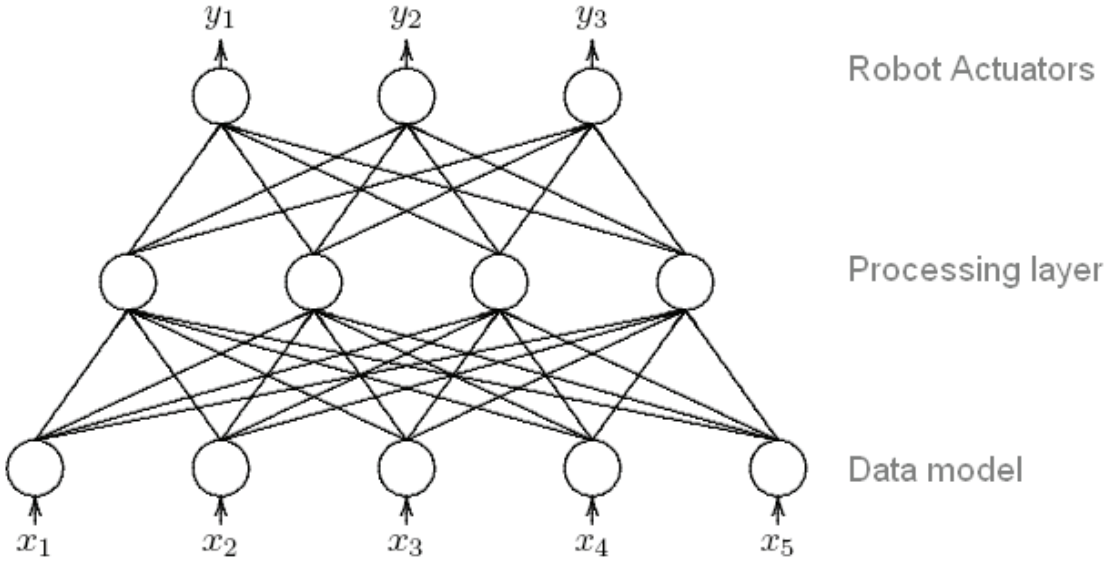


Fig. 2, The NN layer organization

By making some assumption for the purpose of demonstration, we will have n neurons in the data-model, m neurons for robot actuators and p neurons in our processing layer. The output of processing layer neurons will defined (5)

$$x_i^1 = \sigma(\sum_{j=1}^{n} \omega_{ij}^0 x_j + \omega_{i0}^0), i = 1, 2, ..., p \quad (5)$$

$$y_i = \sum_{j=1}^{p} \omega_{ij}^1 x_j^1 + \omega_{i0}^1), i = 1, 2, ..., m \quad (6)$$

After processing layer our output will be (6). This is a general setup of NN that makes the stage ready for deploying any model of function approximation. We do not further develop concrete models here as we are dealing with a general abstract architecture of the network. The above configuration is enough for us to depict the decomposition of NN parts in the software architecture.

Embedding NN in architecture with object oriented design

In the architectural model that we present, the famous proxy design pattern [5] is realized. The NN is assumed to be processed on a software server and it also could be deployed on a physically different machine than the robot. An example is when the brain machine is over the internet.

In this way, the world gestures stimulate the robot actuators and this input to the robot mind perception activates events. Each event is connected to the robot command system through the controller. In this way, controller is like a junction that connects events and commands. Events and commands have their own separated class which pulls in the principles of Encapsulation, polymorphism and inheritance. Controller has its own class. The data-model class is a singleton [5] and it is updated by NN via proxy pattern. The command is called by controller based on the event that happens and there are three basis methods designed in the command class: execute, result and fault. In the execute function, the command calls the proxy service related to the event, and just with the same name as it is on the server. This is performed by calling one of the delegate class methods. Delegate class is a proxy between the NN server and other part of robot mind model. The delegate encapsulates the connection with NN server part, being it physically placed in the robot or out of it. NN performs the service, i.e. the actual processing and sends the data back to the delegate. The data flow continues from the delegate back to the command function. If the data back is error, then the fault function of the command object is called, otherwise the result function is called and the data is passed to it. The result function in turn may update the data-model which in turn may fire needed events that manipulate actuators. Actuators may be directly a function of data-model updates so that

the actuator manipulation takes place automatically without the need of extra events. Delegate class may get configuration files from the xml files as depicted on the following picture:

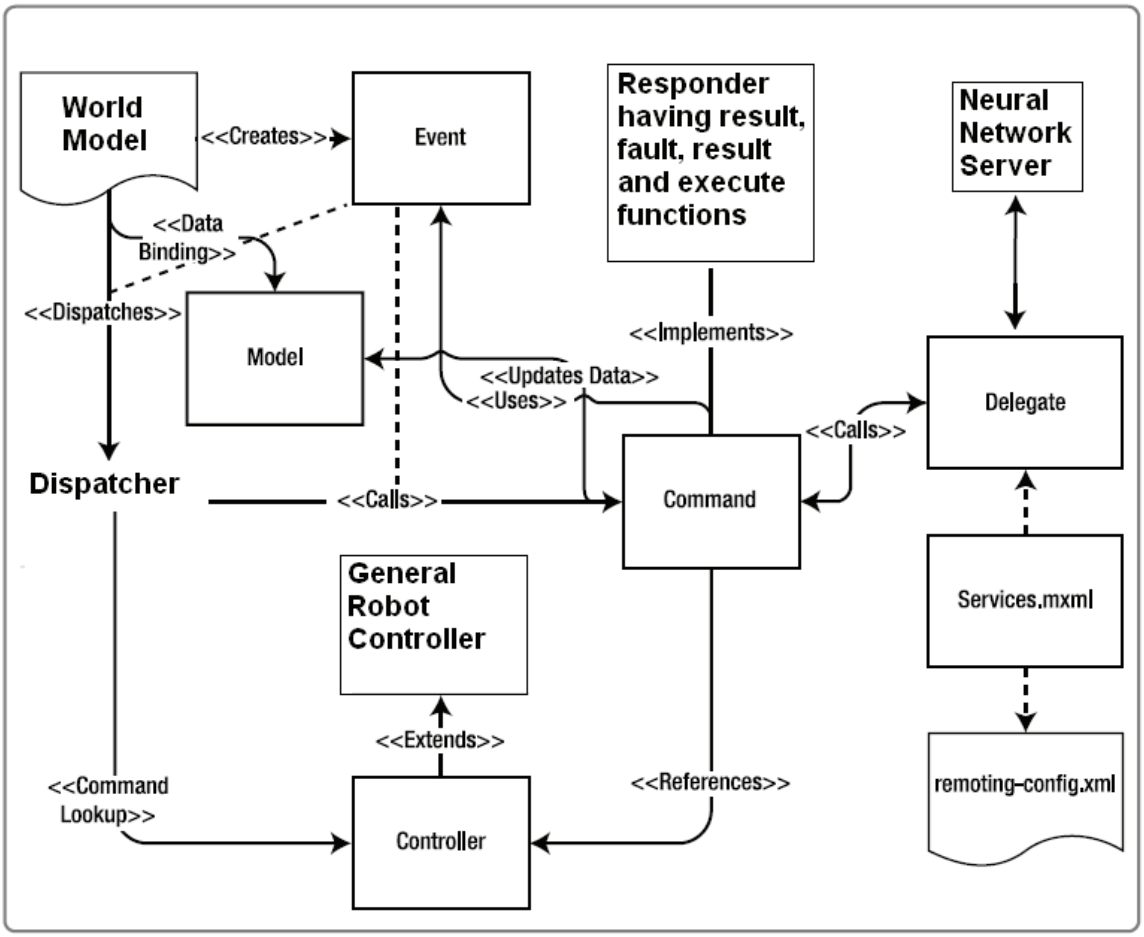


Fig. 3, The architecture for OOP of NN

Implementation:

Authors implemented the architecture on a robot based on the OpenWRT Linux Kernel having two motors and two bumper switch sensors. If sensors output gives (+1, +1), which means both are pressed, then the motors should not work so the output of NN have to be (-1,-1). Logic matrix of this information is (7).

$$\begin{matrix} +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 \end{matrix} \qquad \begin{matrix} +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 \end{matrix}$$

(7) (8)

Each vector of the above matrix is a pathway of the NN. If NN works, for a data model of (+1, +1) we must get (-1,-1), which is the first column of the above matrix. By multiplication of it to itself we get (8).

Having this in the NN, we can ask the question (+1,+1) and the NN by using above matrix and multiplying it to (+1,+1) will give us the answer which turns to be a column vector as (+2,+2,-2,-2). In normalization process, results larger than zero change to +1 and less than zero change to -1 and the resulting vector turns to be (+1,+1,-1,-1), extracting the answer from it we get (-1,-1) which is the right answer. So NN worked the right way.

Conclusion

The NN module of the last part has been successfully tested on the architecture above realized on the target robot. The architecture lets the programmer to hold the true principles of Object

Oriented programming. Every task has its own class so it is performed **encapsulated** in own object. Next, for instance every new command inherits the base command class holding **inheritance** principle. Finally, as an example, every command implements three main functions named as execute, result and fault, no matter what the command is going to perform. This is the **polymorphism** implemented in the architecture. That means that the goal of the project has been achieved. The further material including video of the robot that is realized with NN based on this article could be found on Robotic sub club of ZabavaClub.com.

References

1. *Toshinori Munakata, Fundamentals of the new Artificial Intelligence*, Springer-Verlag London Limited 2008, ISBN: 978-1-84628-838-8.

2. *P. Dart, A. Senyard, and L. Sterling. Towards the Software Engineering of Neural Networks: a Maturity Model*, In proceedings of the 2000 Australian Software Engineering Conference, page 45, 2000.

3. *W.S. Humphrey, Managing the software Process*. Addison-Wesley, 1989.

4. *Glenn E. Krasner and Stephen T. Pope*. A cookbook for using the model-view controller user interface paradigm in Smalltalk-80. Journal of Object-Oriented Programming, 1(3):26–49, August/September 1988.

5. *James Rumbaugh, Ivar Jacobson, Grady Booch*, The unified modeling language reference manual, Addison Wesley Longman, Inc., ISBN 0-201-30998-X

6. *Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides*, Design Patterns, Elements of Reusable Object-Oriented Software, Addison-Wesley Pub Co; 1st edition (January 15, 1995).

УДК 004.725.6

В. Клобуков, В. Рябоконь, С. Єрмак
(Національний авіаційний університет,Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТОКОЛІВ ПОБУДОВИ МАРШРУТІВ В МЕРЕЖАХ METRO ETHERNET

Розглянуто тему протоколів покриваючих дерев, що визначають побудову маршрутів та розроблено механізм вибору маршрутів в мережах, заснований на управлінні трафіком та під задачу вибору шляхів.

У наш час, коли технології швидко розвиваються, тема Metro Ethernet, набуває великої актуальності у зв'язку з бурхливим розвитком мереж Ethernet міського масштабу, що обумовлена пропозицією все більшого набору сервісів (включаючи телефонію, телебачення, відео за запитом та мережеві ігри). Інтелектуальні ethernet-технології мають потужну інфраструктуру надання послуг і максимальну гнучкість мережевої архітектури. Використання Metro Ethernet дозволяє забезпечити прозоре підключення користувачів, оптимізувати використання смуги пропускання, прискорити впровадження нових сервісів. Ethernet допомагає понизити експлуатаційні витрати, ефективніше здійснювати капітальні витрати, а також впроваджувати прибуткові послуги. Витрати на надання нових ethernet-послуг відносно невеликі, оскільки технологія з легкістю вбудовується в наявну інфраструктуру передачі даних.

Останніми роками в мережах класу Metro і територіально розподілених мережах отримала визнання технологія Ethernet. В той же час в класичних мережах Ethernet питання, пов'язані із забезпеченням якості обслуговування (QOS) практично не розглядалися. Дослідження, що зараз проводяться, можуть вирішити декілька актуальних проблем впровадження таких мереж на базі концепції Metro Ethernet. Однією з таких проблем сьогодні є - дослідження *синтезу протоколів побудови маршрутів в міських мережах*. Нашим завданням буде вирішення групи проблем, пов'язаних з побудовою маршрутів в мережах Metro Ethernet.

Слід визначити декілька можливих завдань:

- аналіз недоліків класичних протоколів покриваючих дерев;
- розробка нового механізму вибору маршруту, заснованого на управлінні трафіком;

Вирішення цих завдань, дозволить розраховувати навантаження для мультисервісного трафіку на етапі проектування мереж Metro Ethernet.

Мережі Metro Ethernet можуть будуватися на базі різних транспортних технологій, для яких розроблені методи інкапсуляції Ethernet або ip-пакетів в транспортні пакети, властиві даній технології. Класична структура мережі Metro Ethernet передбачає три рівні, а саме: доступ, агрегація, ядро. Рівень доступу по завданнях, аналогічний сегменту доступу кабельних мереж. Рівень агрегації збирає трафік, що генерується в сегментах доступу, і передає його пристроям рівня ядра (опорній мережі), а також роздає трафік, отриманий з опорної мережі, в сегменти доступу. Основними практичними результатами є здобуття оцінок для розрахунку втрат і затримок в мережах Metro Ethernet при використанні коефіцієнта справедливості, і розробки методу синтезу протоколів, побудови маршрутів в міських мережах Metro Ethernet. Використання результатів роботи дозволить:

- розраховувати навантаження для мультісервісного трафіку на етапі проектування мереж Metro Ethernet.
- можуть бути використані при експлуатації мереж для мереж Metro Ethernet на етапі створення устаткування комутаторів Ethernet.

Розглянемо метод вибору маршрутів, заснований на управлінні трафіком, який дозволяє усунути недоліки протоколів покриваючих дерев. Запропонований метод забезпечує відмовостійкість мережі по критерію часу відновлення, після одиничної відмови і вирішує задачу балансування навантаження. Для побудови активних дерев метод використовує вже існуючий протокол MSTP, забезпечуючи при цьому відмовостійкість і балансування навантаження.

Основні властивості методу можна сформулювати в наступному вигляді:

1. Для відмовостійкої мережі необхідно мати, як мінімум, два шляхи для кожної пари вузлів в різних покриваючих деревах, які не мають загальних ребер (ланок) або вузлів. Один з таких шляхів використовується як основний, інший – як резервний . Це дозволяє скоротити час збіжності мережі, за рахунок того, що не витрачається час на реконфігурацію покриваючого дерева, а відбувається перемикання на вже заздалегідь побудоване дерево.

2. Для ефективного балансування навантаження, процесс вибору шляху повинен максима-льно використовувати найменш завантажені ланки і мінімізувати використання найбільш завантажених ланок. Крім того, для збільшення загальної кількості активних ланок покриваючі дерева повинні забезпечувати мінімальне взаємне перекриття.

Цей механізм включає наступні етапи:

- вивчення топології мережі;
- збір статистики по навантаженню в мережі;
- забезпечення відмовостійкості;
- контроль трафіку, що складається з підзадач:
  - вибір маршрутів (шляхів),
  - об'єднання шляхів,
  - побудова покриваючих дерев.

Розглянемо детально завдання контролю трафіку. Підзадача вибору шляхів полягає у визначенні шляхів між парами вузлів. Потім вирішується підзадача об'єднання шляхів для того, щоб сформувати відповідні покриваючі дерева (підзадача побудови покриваючих дерев), які можуть бути зіставлені різним VLAN. Метою алгоритму вибору шляхів є максимізація використання ресурсів мережі Metro Ethernet. Основна ідея алгоритму – знайти шляхи, які забезпечать балансування навантаження між різними частинами мережі і дозволять уникати тих ланок в мережі, які переносять підвищене навантаження (так звані - критичні ланки). Розглянемо алгоритм. Алгоритм вибору шляхів визначає основна дорога *X* і резервна дорога Y, які можуть забезпечити вимоги до очікуваної пропускної спроможності *B(s,d)* між заданим джерелом *s* і одержувачем *d*. Алгоритм розраховує величину Ш(G), що визначає міру завантаження ресурсів в мережі G по наступній формулі:

$$\Psi(G) = \sum_{l \in G} \left(\psi(l) - \frac{\phi_l}{C_l} \right)^2$$

де *Cl* – загальна пропускна спроможність, *Rl* – доступна (що залишилася) та пропускна спроможність ланки l, ш(l) –параметр ланки l, який виражається через формулу $\psi(l) = \phi_l / R_l$

Величина ϕ_l визначає очікуване навантаження:

$$\phi_l = \sum_{(s,d)} \left[\phi_l(s,d) B(s,d) \right]$$

де B(s,d) – необхідна пропускна спроможність між *s* і *d* $\phi_l(s,d) = y/z$ де *z* – загальна кількість шляхів в мережі між джерелом s і одержувачем *d*, *y* – число шляхів, що проходять через ланку l. В результаті виконання даного алгоритму вибору доріг визначається основна дорога X(s,d) і резервна дорога Y(s,d) між парою вузлів s і d.

Основні і резервні шляхи мають бути згруповані, для того, щоб сформувати покриваючі дерева. Кожне окреме покриваюче дерево відповідає окремому VLAN. Оскільки кількість VLAN це обмежений ресурс, важливо об'єднати шляхи так, щоб зменшити число покриваючих дерев, що будуються. Для досягнення даної мети пропонується евристичний алгоритм. Оскільки загальна кількість необхідних покриваючих дерев обернено пропорційно до кількості шляхів, згрупованих разом, кількість покриваючих дерев може бути зменшене за допомогою об'єднання великої кількості шляхів разом.

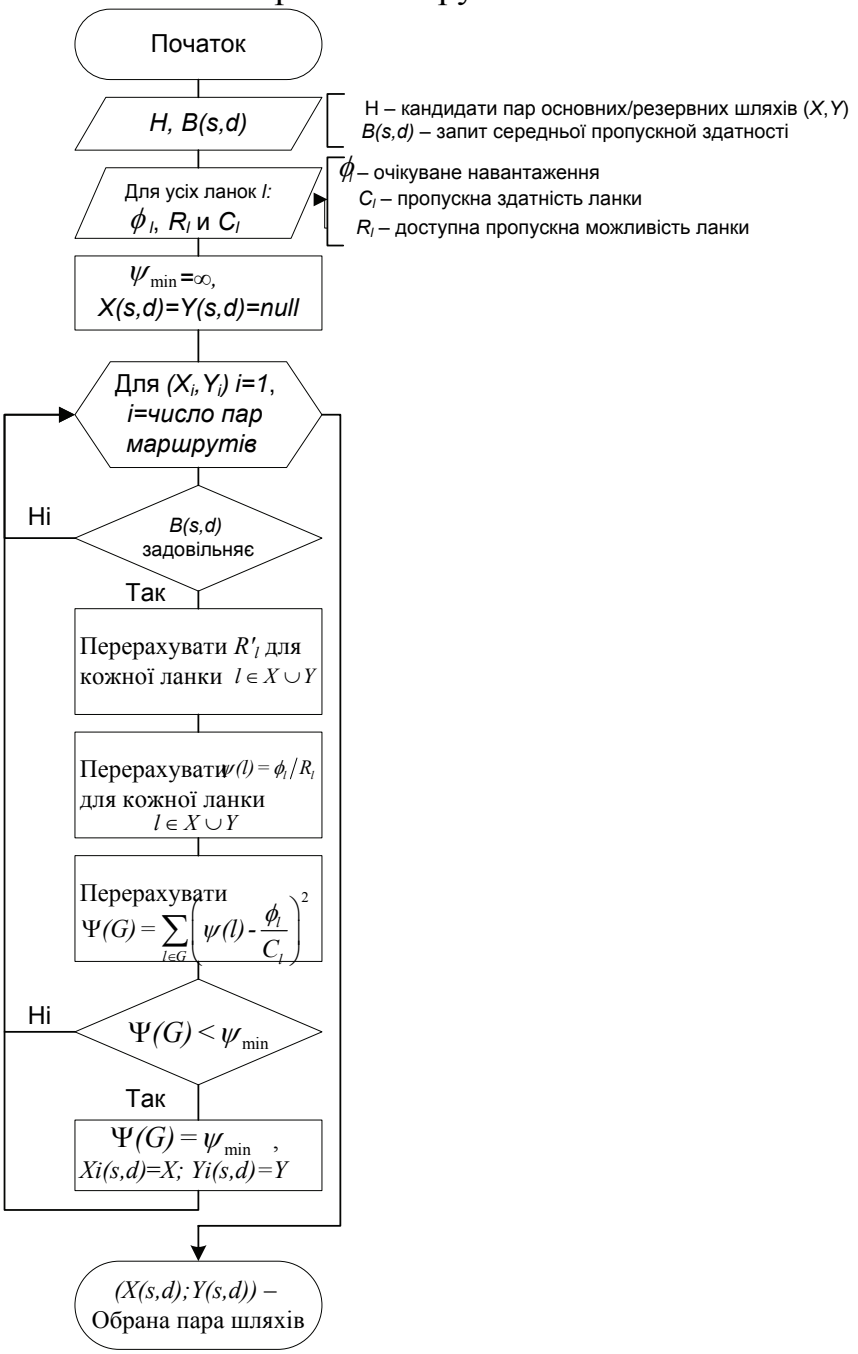
Для збільшення кількості шляхів на одне покриваюче дерево пропонується об'єднувати шляхи із загальними властивостями. У запропонованому алгоритмі слід об'єднати шляхи із загальними парами сусідніх вузлів. В результаті виконання даного алгоритму набір S матиме сукупність покрива-

ючих дерев, які можуть бути використані для створення незалежних VLAN.

Після отримання набору S покриваючих дерев, дані дерева, будуються згідно із стандартним протоколом MSTP. Запропонований метод вибору маршрутів в мережі Metro Ethernet забезпечує:

- нормований час збіжності мережі (50 мс) за рахунок перемикання на резервні шляхи;
- ефективний вибір різних конфігурацій шляхів;
- балансування навантаження на етапі вибору шляху для VLAN, що стійкий до різних типів трафіку.

Алгоритм вибору шляхів



Наступне завдання присвячене побудові покриваючих дерев для мультикастового трафіку (додатки ір-телебачення (IPTV), відео за замовленням (VOD) і ін.). У роботі показано, що в разі мультикастового трафіку корінь мультикастового дерева повинен збігатися з коренем активного дерева MSTP. Як приклад розглянемо два варіанти: у першому варіанті джерело мультикастово-го трафіку збігається з коренем покриваючого дерева, в другому випад-

ку, джерело мультикастового трафіку не збігається з коренем і знаходиться у вузлі B на глибині дерева b.

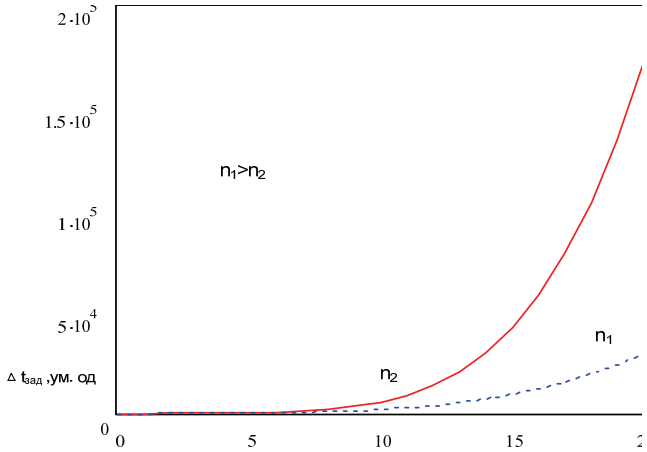
Як міра порівняння, двох варіантів, вибирається затримка передачі протокольних блоків. У першому випадку сумарна вартість шляху до кожного вузла від вершини дерева рівна:

$$\sum_{k=0}^{d} k \cdot n_k^{(0)} + \ldots + \sum_{k=i}^{d} k \cdot n_k^{(i)} + \ldots + \sum_{k=b}^{d} k \cdot n_k^{(b)} = \sum_{i=0}^{b} \sum_{k=i}^{d} k \cdot n_k^{(i)}$$

де $nk^{(i)}$ – число вузлів на глибині k, що належать піддереву з коренем на глибині i, d – загальна глибина дерева. А в другому випадку сумарна вартість дороги до кожного вузла від вершини дерева рівна:

$$\sum_{k=0}^{d} (k+b) \cdot n_k^{(0)} + \ldots + \sum_{k=i}^{d} (k+b-2i) \cdot n_k^{(i)} + \ldots + \sum_{k=b}^{d} (k-b) \cdot n_k^{(b)} = \sum_{i=0}^{b} \sum_{k=i}^{d} (k+b-2i) \cdot n_k^{(i)}$$

Ми бачимо, що різниця між виразами двох варіантів завжди буде позитивною. На малюнку показано залежність та різницю затримок від глибини розташування кореня при різній кількості вузлів у мережі.



Таким чином, в мережах Ethernet для поліпшення характеристик мультикастового трафіку (наприклад, для послуг IPTV) необхідно будувати дерева таким чином, щоб джерело мультикастового трафіку співпадало з коренем покриваючого дерева, де передається цей трафік.

В роботі було розглянуто декілька актуальних аспектів для мережі Metro Ethernet. Досліджено тему протоколів покриваючих дерев, що визначають побудову маршрутів та визначено основні недоліки цих протоколів, що не дозволяють застосувати їх в мережах Metro Ethernet. Розроблено механізм вибору маршрутів в мережах, заснований на управлінні трафіком та підзадачу вибору шляхів. Запропоновано механізм побудови покриваючих дерев для мультикастового трафіку.

Список літератури

1. *Alexandros S.M.* Core and Metro Networks (Wiley Series on Communications Networking & Distributed Systems), 2005, 32-140c.

2.Metro Ethernet Forum. Metro Ethernet Network Architecture Framework - Part 1: Generic Framework. - Metro Ethernet Forum, 2004, 26c.

3.*Dongmei Wang, D. Lynch.* Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN). - NJ, IEELANMAN 2010.

4.*Остерлох Хизер.* Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка. - К. Диасофт. 2004. - 512с.

5.Galkin A.M., Simonina O.A, Yanovsky G.G. Analysis of IP-oriented multiservice networks characteristics with consideration of traffic's self-similarity properties // IEEE Russia Northwest section: proceedings. St-Petersburg, 2005.

УДК: 534.4:621.391

О.Н. Карпов, д.т.н., проф., К.М. Глушак, аспирант,
(Днепропетровский национальный университет, Украина)

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО РЕЧИ

В работе приведен вариант технологии определения функционального состояния человека по его речи. Также делаются предположения относительно определения специфических признаков речи диктора

Задача оценки функционального состояния человека по его речи является сложною комплексной задачей, которая содержит физически разнородные параметры. Решение данной задачи связано с оценкой взаимодействия психической реакции человека и моторной реакцией всех частей речеобразующего тракта: резонансной системы, созданной положением языка, губами, носовой полостью, голосовой мышцей и дыхательной системой. Соответственно, параметры речеобразования формируются как на психическом, так и на психоакустическом уровнях.

Функции индивидуальных или функциональных отклонений от эталона диктора в частотной области могут быть представлены как некоторые множества $W(\omega)$ для спектральных огибающих $S_э(\omega)$:

$$S(\omega) = W(\omega) S_э(\omega) \qquad (1)$$

или как спектры сигналов разностей $S_р(\omega)$, которые вычитаются или добавляются к эталонным спектрам:

$$S_p(\omega) = S(\omega) - S_э(\omega) \qquad (2)$$

(функция амплитудной индивидуальности голоса АИГ также может входить в сигнал голосового источника как произведение или сумма);

Акустический сигнал в речеобразующем тракте модулируется сигналом динамики психофизического состояния, которые представляют собой паузы раздумья или дыхательные паузы. Речевой сигнал может быть на фоне шума, который имеет сложный состав.

Таким образом, речевой сигнал имеет вид сложной многомерной функции $f(\Omega_1,...,\Omega_2,\omega,t)$, де $\Omega_1,...,\Omega_2$ –частоты компонентов речевого сигнала с неизвестными операциями их взаимодействия, ω – частота спектральных параметров, t – текущее время.

Компоненты нестационарности речевого сигнала. Изменчивость речевого сигнала обусловлена множеством факторов. Из них основными являются следующие [1]:

а) речевой сигнал - случайный нестационарный временной процесс; б) вариативность речи, обусловлена трансформацией (редукцией), транскрипцией; в) индивидуальность; г) диалект; д) состояние диктора и изменчивость состояния.

Каждый из этих факторов вызывает своё отклонение параметров реальной речи от некоторого идеала параметров правильной речи $S_r(\omega,t)$ (right – правильный).

А. **Нестационарность** речевого сигнала вызванная несколькими факторами, имеющими разную физическую природу: амплитудная нестационарность $S_a(\omega,t)$; частотная нестационарность $S_f(\omega,t)$; временная нестационарность $S_t(\omega,t)$.

Амплитудная нестационарность – это изменчивость громкости (интенсивности) речевого высказывания и динамика интенсивности сигнала как функции времени, обусловленной дикцией, выражением, ударением.

Частотная нестационарность $S_f(\omega,t)$:

1) это перераспределение энергии спектра вдоль оси частот в данном высказывании;
2) изменение перераспределения энергии для разных вариантов данного высказывания;
3) изменение плотности энергии для конкретной полосы частот(ширина и высота форманты).

Временная нестационарность $S_t(\omega,t)$ – это изменение общей длительности высказывания и составляющих его фонем.

Б. **Вариативность** речи обусловлена как нестационарностью, так и изменчивостью структуры речи $S_v(\omega,t)$:

–переход одного звука в другой (редукция) в соединении фонем (например, “глухой - звонкий”, “звонкий - глухой”);

–разной транскрипцией произнесения слова (например, “50 - пидисят, пядесят” , “60 - шиздисят, шиисят”);

–трансформация гласных фонем “ударных - неударных”.

В. **Индивидуальность** $S_p(\omega,t)$ – это многофакторное понятие. Оно характеризуется как структурой речевого сигнала, обусловленной индивидуальным состоянием речеобразующего тракта, как-то: частота основного тона (ОТ), структура резонансных областей, артикуляция губ; так и движением мышц индивидуума дефектами той или другой части системы речеобразования, предназначенной для формирования и излучением акустического сигнала.

Г. **Диалект** $S_d(\omega,t)$ – это вариативность структуры, ударения, фонемного состава и длительности речевого сигнала .

Д. **Изменчивость состояния** диктора $S_s(\omega,t)$ –это динамика ОТ (сдвиг и $\pm$ изменение диапазона частоты), изменение структуры резонансных областей речеобразующего тракта, которое меняет временную, частотную и амплитудную структуру речевого сигнала.

При построении алгоритмов решения задач оценки функционального состояния и идентификации личности приведенные факторы требуют разделения общей задачи на частные, учитывающие специфику каждого фактора и способ его взаимодействия с другими факторами

Один из алгоритмов решения задачи. Для организации решения входная функция $s(t)$ дискретизируется с частотою f_d, формируя сигнал $s(t_j)$, который затем разбивается на интервалы анализа T_{lN} с количеством отсчётов N на интервале при $l=\overline{0,n-1}$, n – количество интервалов T_{lN}, представляя входной сигнал как двухмерную функцию времени и частоты вида $S(\omega_k,T_l)$, при $j=\overline{lN,(l+1)N}$, $S(\omega_k,T_{lN})$ – спектральный срез.

Решение задачи оценки функционального состояния диктора по его речи может быть реализовано в виде некоторой иерархии уровней, которые отличаются привлекаемыми для решения параметрами и целями.

Нулевой уровень - распознавание слов речи заданного словаря(изолированных слов или фраз), для данного варианта оценки параметров функционального состояния не ставиться задача распознавания слитной речи произвольной длительности

Первый уровень - сопоставление параметров динамики основного тона и темпоральных характеристик речи.

Второй уровень – сопоставление спектрально-временных характеристик речевых высказываний слов или фраз).

Для решения задачи оценки функционального состояния говорящего первого уровня формируются две группы параметров [2, 3]:

– сигнал с частотой основного тона для тонального сигнала;

– темпоральные характеристики как количество пауз (КП) в речи, длительность речи (ДР) на интервале анализа, длительность пауз на интервале анализа, темп артикулирования (ТА) – отношение длительность пауз до длительность речи.

В данной работе приведены результаты обработки сигнала основного тона.

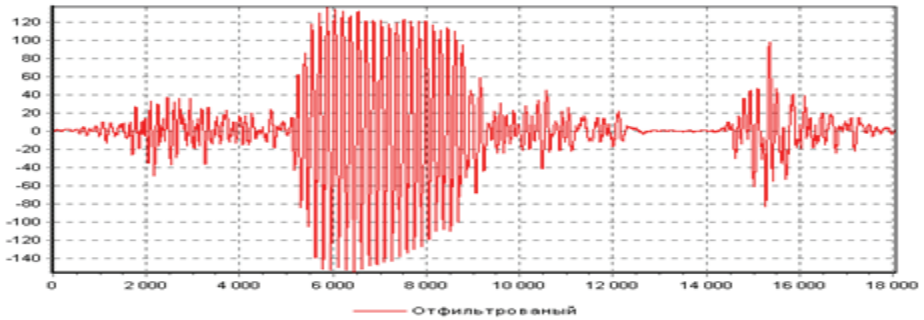


Рис. 1 Сигнал частоты основного тона слова “шесть”.

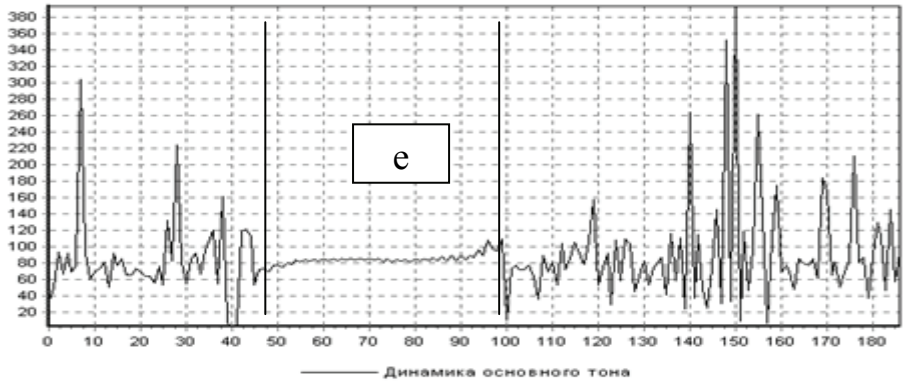


Рис. 2 Динамика частоты основного тона.

На рис.2 вертикальными линиями ограничена область динамики длительности периодов основного тон для фонемы “йэ”. За пределами этой области показана динамика низкочастотного компонента шумных звуков “ш, с” , глухой паузы и глухого взрывного звука “ть” .

Решение задачи выявления чередования тональных и шумных звуков строится по параметрам тональности, шумности и интенсивности на интервалах анализа.

Графики, которые иллюстрируют процесс формирования функции частоты перехода через нуль $\rho(T_l)$, представлены на рис. 3.

Как видно из графика рис. 3 уровень частоты переходов через нуль $\rho(T_l)$ для тональных звуков не превышает 15, в то же время как для шумных звуков и глухой паузы в зависимости от фонемы может достигать 60 для интервала анализа $T_{lN} = 220$ отсчётов сигнала $s(t_j)$.

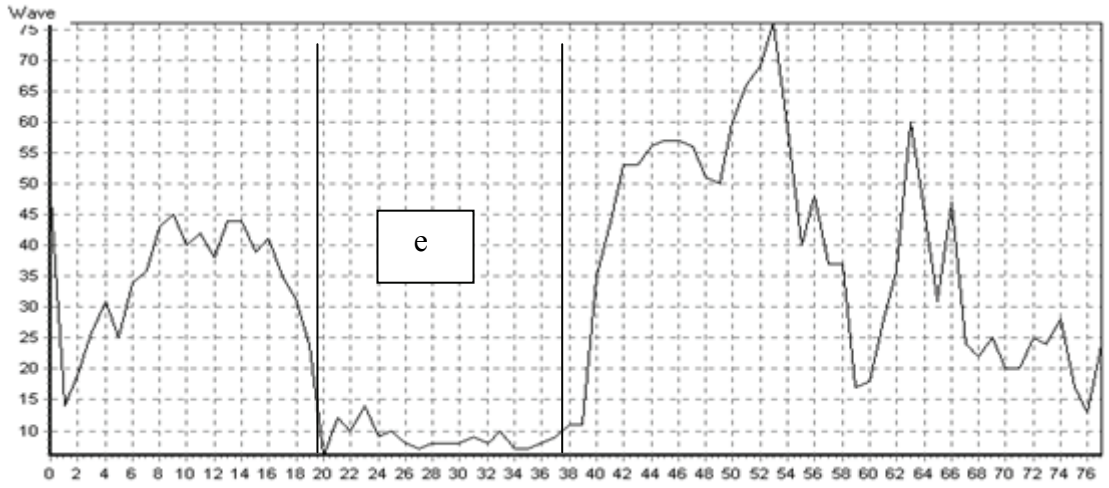


Рис. 3 Функция частоты переходов через нуль $\rho(T_l)$ сигнала слова «шесть»

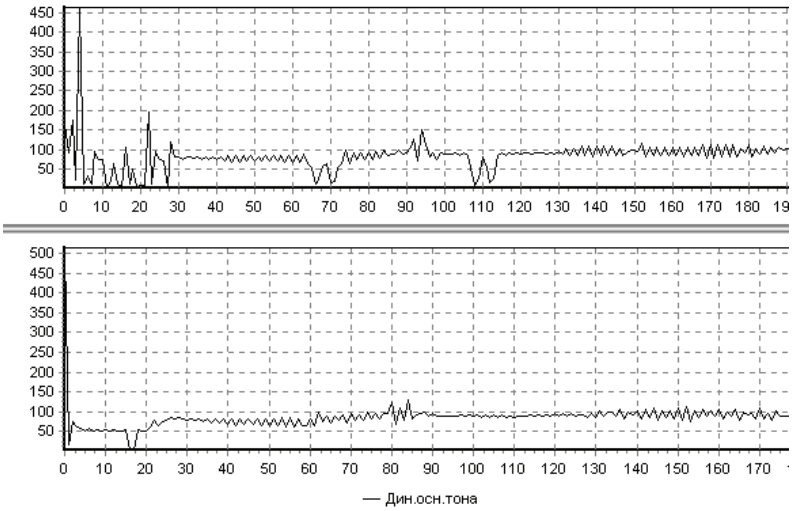


Рис. 4. Динамика частоты сигнала основного тону слова “адин” двух реализаций

Задача сопоставления решается для функции динамики частоты сигнала основного тона решается методом динамического программирования только для тональной части сигнала, полученной во временном окне типа рис. 3 по граничному уровню параметра $\rho(T_l)$.

Выводы. Речевой сигнал имеет две основные компоненты: информационную и индивидуальную. Информационная часть – это слова, которые произносит диктор. Индивидуальная часть – это оттенки речи, связанные с дикцией, функциональным состоянием диктора, индивидуальностью его голоса. В устройствах распознавания речи определяют информационную часть.

Список литературы

1. Карпов О.М., Чугай О.А., Зірнєєва Г.В., Асадулін В.А. Методи та алгоритми оцінки ситуативних відхилень параметрів мови людини: Навч. пос. – Д:., РВВ ДНУ, 2007. – 64 с.

2. Носенко Э.Л., Карпов О.Н., Чугай А.А. Система автоматического определения эмоционального состояния человека по акустическим и темпоральным характеристикам речи./ Матер. симпоз. “Речь, эмоции и личность”. Ленинград, 1975. С. 108-113

3.Карпов О.Н., Носенко Э.Л., Чугай А.А. Устройство для выделения частоты основного тона речи. /А.С. № 773689, “Официальный бюллетень изобретений и открытий”, № 39, 1980.

УДК 534.4: 621.391

О.И. Лучинкина, О.Н. Карпов, доктор технических наук
(Днепропетровский государственный университет имени Олеся Гончара)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СЛИТНОЙ РЕЧИ

В тезисах предложена модель построения системы распознавания слитной речи, как системы искусственного интеллекта. Приведены принципы построения фреймов, описывающих отдельные этапы системы.

На сегодняшний день существует множество систем распознавания речи. Большинство из них направлены на распознавание изолированных слов. Согласно опубликованным на сегодняшний день данным, надежность распознавания речи для систем, которые работают с однословными командами, достигает 99.5, командами, которые состоят из двух слов, - 97.5, из трех слов – 92.5, из четырех слов – 91.9. Но при проектировании системы распознавания слитной речи перед разработчиками появляется проблема распознавания не только языкового сигнала, но и лингвистического содержания.

Системы распознавания речи можно классифицировать по таким признакам [2,3]:

- тип речи (слитная или изолированная);
- тип элементов словаря (фонемы, слоги, слова, и др.);
- зависимость от диктора;
- степень детализации;
- размер словаря.

Каждая такая система характеризуется своими методами и алгоритмами.

Как правило, работа системы распознавания речи делится на два вида:

- распознавание голосовых меток;
- распознавание лексических элементов

Первый подход допускает распознавание фрагментов языка по заранее записанному образцу. Этот подход широко используется в относительно простых системах, предназначенных для выполнения заранее записанных команд, например, системы голосового управления транспортом.

Второй подход сложнее. При его реализации из потока речи выделяются отдельные лексические элементы - фонемы и алофоны, которые потом объединяются в составы и морфемы. Строго говоря, именно этот подход и используется в "настоящих" системах распознавания речи. При создании системы распознавания слитной речи важно не просто разработать механизм, позволяющий математически описать звуковой сигнал. Разработка подобной системы включает лингвистический аппарат, позволяющий анализировать распознанные данные и формировать выводы на основе языковых правил.

Рассмотрим один из возможных подходов к разработке системы распознавания слитной речи, учитывающей особенности языка и произношения.

На начальных уровнях анализа перед нами стоит задача разбиения высказывания на элементы первичного анализа. В качестве элемента первичного анализа будем брать фонемы. Как фонетического алфавита будем использовать набор из 48 фонем: 12 - для гласных звуков (учитывая, что каждая гласная может быть ударной и безударной) и 36 - для согласных (учитывая, что каждая согласная может быть твердой и мягкой).

Таким образом, получаем алфавит фонем:

- Гласные: а а! е е! о! и и! у у! ы ы! э!.
- Согласные: б, б' в в' г г' д д' ж з з' й к к' л л' м м' н н' п п' р р' с с' т т' ф ф' х х' ц ч ш щ.

Одним из важнейших узлов системы является транскриптор.

Фонетическая транскрипция [1,4] - это особенный вид записи речи, который используется для фиксации на листе особенностей ее звучания. Она предназначена для описания произношения слов. Текст на естественном языке представляет собой упорядоченный поток символов. Символы обрабатываются последовательно, друг за другом, в порядке их расположения в тексте. Обратный транскриптор – это механизм, позволяющий преобразовывать произносимое слово в его запись.

При создании фонетического транскриптора необходимо принимать во внимание логику транскрипции. Проблема заключается в том, что невозможно поставить в соответствие каждой букве ее конкретный звук. Так, например, транскрипция слова "еж" - [jош],а слова "кожа" - [кожа].

Звук буквы меняет свое значение в зависимости от расположения в слове, ударению, порядку следования, свойств букв. Таким образом, транскриптор строится на основе правил, определенных конкретным языком.

Так как перед нами стоит задача анализа слитной речи, а не просто анализа отдельных слов, возникает очередная проблема. Зачастую, при быстром произнесении фразы, некоторые фонемы на границах слов «теряются». Таким образом, кроме правил транскрипции изолированных слов необходимо учитывать и правила, описывающие транскрибирование на границах слов.

Писать программный продукт, который будет проводить десятки однотипных проверок для каждой буквы при транскрибировании, не является целесообразным. Поэтому проанализировав современные методы решения подобных проблем можно прийти к заключению, что целесообразно строить такую систему как систему искусственного интеллекта, анализирующую набор правил на основе некоторых заранее заданных методов.

Цель проектирования экспертных систем [5] заключается в разработке программных продуктов, которые могут решать задачи, которые являются тяжелыми для решения экспертами в связи с необходимостью обработки большого количества данных, или применения большого количества правил. С помощью экспертных систем мы получаем результаты, которые не уступают по качеству и эффективности решениям, до которых могут дойти эксперты. В большинстве случаев экспертные системы решают задачи, которые трудно формализовать, или задачи, которые не имеют алгоритмического решения.

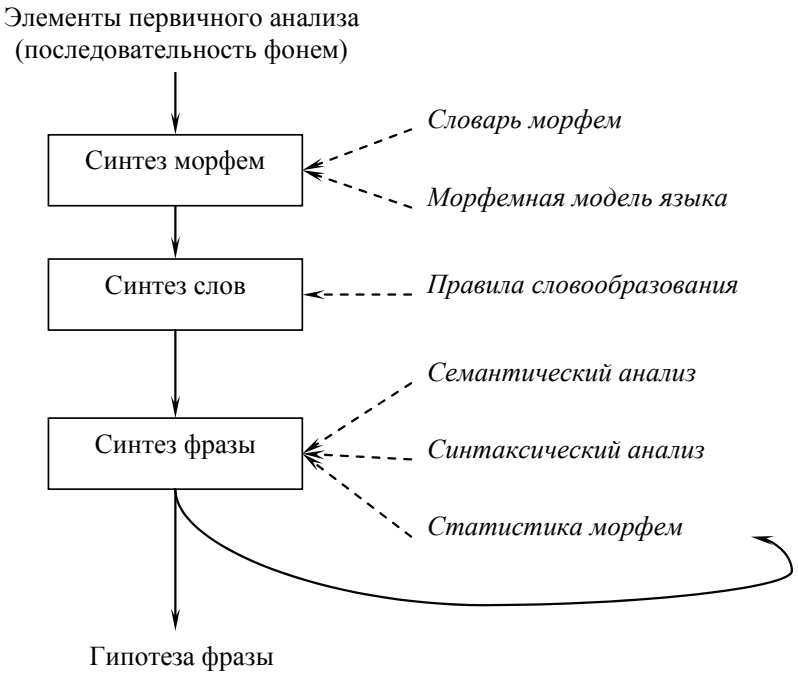


Рис.1. Синтез фразы из речевого сигнала

При разработке транскриптора целесообразно использовать статичную экспертную систему с четко заданными правилами и загодя известными элементами. Для того чтобы решить какие именно правила нужно использовать для транскрибирования нужно

1. Выделить элементы системы - звуки
2. Выделить правила транскрипции.
3. Расставить приоритет для каждого из правил.
4. Записать правила в формализованном виде.

В целом уровень дальнейший синтез предложения можно охарактеризовать следующей схемой, представленной на рис. 1.

Первоочередной задачей при синтезе слов являете объединение фонем в последовательность морфем. Будем рассматривать следующие типы морфем: приставка, корень, интерфикс, суффикс, окончание, целое слово.

После распознавания фонем и подбора наиболее вероятных цепочек морфем получившийся набор гипотез далее используется для формирования цепочек слов. На основе каждой поступившей гипотезы фразы, представленной в виде последовательности морфем, формируется еще несколько гипотез, представленных уже последовательностью гипотез слов.

Одной из основных проблем распознавания слитной речи является особенность интерференции звуков на стыках слов. Таким образом, при разработке алгоритмов распознавания слитной речи необходимо учитывать не только правилам транскрибирования слов, но и уделить особенное внимание ряду правил, описывающих межсловные фонетические явления. Эти правила можно классифицировать следующим образом [6,7]:

1. Если в начале слова стоит сочетание фонем /йи/, причем гласная безударная, оно переходит в фонему /ы/ в случае, если первое слово заканчивается на твердую согласную.(город в Якутии /го!рат в йику!т'ии/ → /го!рат в ыку!т'ии/).

2. Первая в слове гласная /и/ после всех твердых согласных переходит в фонему /ы/ (лист ивы /л'и!ст ы!вы/).

3. Безударные гласные редуцируются до полного исчезновения, если они находятся:

а) между одинаковыми согласными (мясо сырое /м'а!са сыро!йе/ → /м'а!с сыро!йе/)

б) после одной из парных по глухости-звонкости согласных и перед соответствующей парной согласной (степи большие /с'т'е!пи бал'шы!йе/ → /с'т'е!п' бал'шы!йе/).

4. Фонемы /т'/ и /д'/, стоящие после /с'/ и /з'/ соответственно, редуцируются до полного исчезновения (есть порох /йэ!с'т' по!рах/ → /йэ!с' по!рах/).

5. Фонемы /т/ и /д/, стоящие после /с/ и /з/ соответственно, редуцируются до полного исчезновения (хвост коровы /хво!ст каро!вы/ → /хво!с каро!вы/).

6. Согласная /й/ в конце слова редуцируется до полного исчезновения, если ей предшествует безударная гласная, а следующее слово начинается с любой фонемы, кроме ударной гласной (красный шар /кра!сный ша!р/ → /кра!сны ша!р/).

7. На стыке двух знаменательных слов глухие согласные /п/, /п'/, /т/, /т'/, /к/, /к'/,/ф/, /ф'/, /с/, /с'/, /ш/, /ш/, /ц/, /ч/ озвончаются перед фонемами /б/, /д/, /г/, /з/ или /ж/. На стыке служебного и знаменательного слова внутрисловные правила ассимиляции по глухости-звонкости сохраняются, т.е. в положении перед глухими шумными согласными звонкие шумные согласные оглушаются, и на их месте выступают глухие шумные, в положении перед звонкими шумными согласными, кроме /в/, /в'/, глухие шумные озвончаются, и на их месте выступают звонкие шумные (с дороги /здаро!г'и/, в лесу /вл'эсу!/).

8. Сочетание фонем /с'т'/ в конце слова переходит в фонему /щ/, если следующее слово начинается с /ч/ (есть чему /йэ!с'т' чэму!/ → /йэ!щ чэму!/).

9. Если на стыке двух слов находятся одинаковые согласные, то согласная первого слова редуцируется (лес сосновый /л'э!с сасно!вый/ → /л'э! сасно!вый/).

Следует обратить внимание на тот факт, что фонема связана со словом. Она вычисляется в словоформе не в морфеме, а в словоформе. Поэтому определение стыков слов является важнейшим фактором, обусловливающим сегментацию речевого потока на фонемы.

Интересно проследить эволюцию русского алфавита, из которого в конечном итоге бы-

ли удалены некоторые неиспользуемые буквы. Например буквы □ (кси), □ (пси) обозначали по два звука, кс и пс.

Изучение старославянского алфавита с его сочетаниями звуков (например, пси и кси) подтолкнуло к созданию дополнительного уровня обработки фонем – добавление правил, соответствующих некоторым исключенным из алфавита букв.

Последним этапом обработки является синтез фразы.

В ходе построения подобной системы на этапе генерации фразы мы можем встретить несколько типов ошибок, наиболее распространенные из которых:

1. Правильно определена граница слова, но возникает неоднозначность в его трактовке при переводе транскрипции морфем на естественный язык.

2. Границы слова определены неверно.

Таким образом построение лингвистического аппарата системы распознавания речи сводится к построению фреймов, представляющих собой последовательность уровней обработки сигнала. Каждый из них характеризуется исключительно своими правилами, и законами из разных отраслей наук - акустика, лингвистика, физики, математика и других. При построении системы распознавания речи как фреймовой модели, каждый из этих уровней будет представлять собой отдельный фрейм, решающий свои задачи независимо от других.

Кроме того, система распознавания слитной речи требует большого словаря и текстовой базы для обучения. Поэтому одним из важных уровней работы системы является ее обучение. Отдельным этапом обучения системы является прямой транскриптор.

Выводы

Система распознавания слитной речи является многоуровневой сложной системой. Ее построение требует тщательного анализа правил и методов, которые используются на каждом из ее уровней. Каждый из уровней использует свои методы, алгоритмы, входные данные. Сложность системы, большое количество данных, которые необходимо обработать, и необходимость принятия экспертного решения обуславливает выбор метода ее построения как экспертной системы, каждый узел которой является фреймом, который характеризуется своими правилами, методами, алгоритмами и данными.

Список литературы

1. *Акишина А. А, Барановская. С.А.* Русская фонетика на фоне общей. – М., 2007 – 104 с.

2. *Карпов О.Н.* Технология построения устройств распознавания речи. Монография. – Д., 2001. – 184 с.

3. *Лучинкіна О.І., Карпов О.М., Аксьоненко П.Ю.* Транскриптор як один з вузлів загальноїекспертної системи розпізнавання мови. Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. Т.14. – Д., 2010 – с.68-78.

4. *Попова Т.В., Губанова Т.В.* Практическая фонетика русского языка. Учеб. пособие. – Тамбов, 2001.

5. *Попов Е.В.* Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. – М.: Наука. 1987.

6. *Аванесов Р. И.* Русская литературная и диалектная фонетика. – М.:Просвещение. – 1974.

7. *Аванесов Р. И.* Русское литературное произношение. – М.: Просвещение. – 1984.

СЕКЦІЯ 5.

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ

УДК 519.2

Н.Б. Марченко, кандидат технічних наук
(Національний авіаційний університет, Україна).

ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ СУБГАУССОВИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ У ПОРІВНЯННІ З НЕРІВНІСТЮ ЧЕБИШОВА

Розлядається проблема використання моделей випадкових процесів, які називаються субгауссовими випадковими процесами, що використовуються при аналізі роботи інформаційно-вимірювальних систем.

На практиці при проведені вимірювань виникає проблема, коли апріорно не відомі статистичні характеристики результатів окремих вимірювань, наприклад: функція розподілу, щільність розподілу, математичне сподівання, дисперсія тощо. Це в свою чегру не дає можливості побудувати оцінку достовірності та точності отримуваних результатів вимірювання. Для подолання цих труднощів використовують різного типу нерівності, що характеризують достовірність при заданій точності. Такого типу нерівності часто мають місце не для окремих функцій розподілу, а для деякого класу величин і процесів. На сьогоднішній день широко відомі і успішно використовуються кілька нерівностей такого типу. Найбільш поширеними в класі процесів із скінченною дисперсією (гільбертових) є нерівність Чебишова та різні її форми. Нерівності такого типу дають змогу в більшій або меншій мірі отримати межі точносних характеристик при використанні стохастичних моделей.

Апріорна інформація про те, що процес є субгауссовим, дає можливість в цьому класі більш точно оцінити результат вимірювань при меншій затраті матеріальних та часових ресурсів. Слід одразу зауважити, що в роботі не йде мова про підвищення точності того чи іншого конкретного вимірювання чи якоїсь конкретної системи. Як буде показано нижче, модель субгауссових процесів в ряді випадків дозволяє покращити оцінки точності, які дає нерівність Чебишова при обробці результатів вимірювання та в методі перевірки стохастичних гіпотез. Таким чином виникає задача розробки методів і відповідних алгоритмів оцінювання точносних характеристик ІВС на базі моделей субгауссових процесів. Всі отримані в роботі результати мають теоретичне значення та практичне застосування при обробці даних вимірювання, при моделювані випадкових процесів, в теорії масового обслуговування, фінансовій математиці, статистиці випадкових процесів та в різних областях природничих і соціальних наук, у яких використовуються методи теорії випадкових процесів.

Розв'язуючи задачу моделювання випадкового процесу за допомогою ЕОМ, потрібно мати апріорну інформацію про процес. Так, якщо процес гауссовий, то необхідно знати його математичне сподівання та коваріаційну функцію. Іноді для розв'язування задачі досить моделювати процес за неповними даними. Цікавим є моделювання субгауссових випадкових величин та процесів [1, 2]. Використання класу субгауссових випадкових величин дає можливість звузити границю довірчого інтервалу, порівнюючи з використанням нерівності Чебишова, а також покращити методичну похибку.

Щоб застосувати нерівність Чебишова [4] при дослідженні випадкового процесу $\{\xi(t), t \in T\}$ треба знати другий центральний момент (дисперсію) параметра, що моделюється. Але часто отримати хорошу оцінку дисперсії не вдається і, навіть, маючи її для випадкового процесу ми повинні певним чином перейти від точкових оцінок для дисперсії в фіксований момент часу до рівномірних оцінок на всьому інтервалі часу T, де заданий моделюючий процес. Задачу можна спростити, якщо використати апріорну інформацію, зокрема про те, що процес є субгауссовим. Тоді ми можемо отримати оцінку аналогічну нерівності Чебишова, але рівномірну на всьому інтервалі часу. В цьому випадку роль дисперсії грає субгауссовий стандарт. Аналогічна задача виникає при оцінюванні точності роботи різних

інформаційно-вимірювальних систем та приладів за методом довірчих інтервалів, коли функція розподілу похибки вимірювань невідома.

За рахунок апріорної інформації про клас розподілів, в даному випадку клас $Sub(Ш)$, є можливість звузити границі довірчого інтервалу, тобто підвищити ймовірність того, що випадкова величина потрапить в оцінюваний довірчий інтервал [4].

Зупинимося на деяких математичних викладках стосовно визначення та властивостей субгауссових величин та процесів. Трійка $\{Щ, F, \mathbf{P}\}$, де Щ – простір елементарних подій, F – деяка алгебра підмножин Щ, $\mathbf{P} = \{\mathbf{P}(A), \quad A \in F\}$ – ймовірнісна міра. Ця трійка формально задає деяку ймовірнісну модель експерименту, яку будемо надалі називати ймовірнісним простором.

Позначимо через $F(x)$ функцію розподілу випадкової величини o

$$F(x) = \mathbf{P}\{o < x\}, \quad x \in \mathbf{R}.$$

Відповідна їй характеристична функція випадкової величини o, виражається таким чином [3]

$$f(u) = \mathbf{M}\exp(iuo) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(iux)dF(x), \quad u \in \mathbf{R}.$$

Позначимо експоненційну генератрису (твірну функцію) кумулянт випадкової величини o

$$g(y) = \ln \mathbf{M}\, e^{yo} = \ln f(-yi), \quad y \in \mathbf{R}. \tag{1}$$

За допомогою генератриси (1) знаходяться моменти випадкової величини o згідно виразу

$$\mathbf{M}o^k = \left.\frac{d^k e^{g(y)}}{dy^k}\right|_{y=0}. \tag{2}$$

Зупинимось коротко на суті математичної формалізації ймовірнісної моделі, яка базується на понятті субгауссовості випадкових величин та процесів.

Випадкову величину o називають субгауссовою [1], якщо знайдеться таке дійсне число $б \geq 0$, що для всіх $y \in \mathbf{R}$ виконується нерівність

$$e^{g(y)} \leq e^{\frac{б^2 y^2}{2}}, \tag{3}$$

де $g(y)$ визначається згідно (1).

Клас субгауссових величин позначається $Sub(Ш)$ [1].

Введемо позначення

$$ф(o) = \inf\left\{б \geq 0 : e^{g(y)} \leq e^{\frac{б^2 y^2}{2}}, y \in \mathbf{R}\right\}, \tag{4}$$

$ф(o)$ – називається субгауссовим стандартом випадкової величини o. Тобто $ф(o)$ – це найменше невід'ємне $б$, яке задовольняє вираз (4) для всіх $y \in \mathbf{R}$.

Таким чином, квадрат субгауссового стандарту це границя, яка обмежує логарифм генератриси помножений на $2/y^2$, $ф^2(o) \geq \frac{2}{y^2} g(y)$, де $y \in \mathbf{R}$.

Теорема [1]**.** *Якщо o є субгауссовою випадковою величиною з $ф(o) > 0$*, то тоді для всіх $x > 0$ має місце нерівність

$$\mathbf{P}\{|o| > x\} \le 2\exp\left(-\frac{x^2}{2\phi^2(o)}\right). \tag{5}$$

Приклади.

1. Оцінемо по результатам спостереження o_k, $k \in \overline{1,n}$ математичне сподівання випадкової величини $o \in \mathsf{N}(\text{и},1)$. Для точкової оцінки математичне сподівання

$$\text{н}_n = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\xi_k \ .$$

Апріорний розподіл ξ_k – гауссовий. Тому $\text{н}_n \in \mathsf{N}\left(\theta, \frac{1}{\sqrt{n}}\right)$, звідки $\frac{\text{н}_n - \theta}{\sqrt{n}} \in \mathsf{N}(0,1)$.

Згідно першому наслідку з нерівності Чебишова, при $\varepsilon = 3$, маємо:

$$\mathbf{P}\left\{\frac{|\nu_n - \theta|}{\sqrt{n}} \ge \varepsilon\right\} \le \varepsilon^{-2} = \frac{1}{9} \approx 0{,}11. \tag{6}$$

Згідно (5), маємо:

$$\mathbf{P}\left\{\frac{|\nu_n - \theta|}{\sqrt{n}} \ge \varepsilon\right\} \le 2\exp\left\{-\frac{\varepsilon^2}{2\tau\left(\frac{|\nu_n - \theta|}{\sqrt{n}}\right)}\right\} = 2\exp\left\{-\frac{9}{2}\right\} \approx 0{,}02. \tag{7}$$

Якщо безпосередньо використати інформацію про те, що ν_n має стандартний гауссовий розподіл, то отримуємо значення

$$\mathbf{P}\left\{\frac{|\nu_n - \theta|}{\sqrt{n}} \ge \varepsilon\right\} \approx 0{,}003. \tag{8}$$

Отже, використання субгауссового стандарту у порівнянні з нерівністю Чебишова дає можливість в даному випадку підвищити оцінку нижньої межі довірчої ймовірності з 0,89 до 0,98, в той час як теоретично її точне значення становить 0,997.

2. У випадку $\varepsilon = 2$, використовуючи (6) отримаємо:

$$\mathbf{P}\left\{\frac{|\nu_n - \theta|}{\sqrt{n}} \ge \varepsilon\right\} \le \varepsilon^{-2} = \frac{1}{4} = 0{,}25\,. \tag{9}$$

Згідно (5) маємо:

$$\mathbf{P}\left\{\frac{|\nu_n - \theta|}{\sqrt{n}} \ge \varepsilon\right\} \le 2\exp\left\{-\frac{\varepsilon^2}{2\tau\left(\frac{|\nu_n - \theta|}{\sqrt{n}}\right)}\right\} = 2\exp\{-2\} = 0{,}271. \tag{10}$$

Якщо безпосередньо використати інформацію про те, що ν_n має стандартний гауссовий розподіл, то отримуємо значення

$$\mathbf{P}\left\{\frac{|\nu_n - \theta|}{\sqrt{n}} \ge \varepsilon\right\} \approx 0{,}046. \tag{11}$$

Аналізуючи рівності (9) та (10), можна зробити висновок що у цьому випадку доцільніше використовувати нерівність Чебишова, ніж субгауссовий стандарт, який в даному випадку не дає можливість підвищити оцінку нижньої межі довірчої ймовірності.

3. У випадку $\varepsilon = 4$, використовуючи (6) отримаємо:

$$\mathbf{P}\left\{\frac{|\nu_n-\theta|}{\sqrt{n}}\geq\varepsilon\right\}\leq\varepsilon^{-2}=\frac{1}{16}=0{,}0625. \tag{12}$$

Згідно (7), маємо:

$$\mathbf{P}\left\{\frac{|\nu_n-\theta|}{\sqrt{n}}\geq\varepsilon\right\}\leq 2\exp\left\{-\frac{\varepsilon^2}{2\tau\left(\frac{|\nu_n-\theta|}{\sqrt{n}}\right)}\right\}=2\exp\{-8\}\approx 6{,}7\cdot 10^{-4}. \tag{13}$$

У випадку стандартного гауссового розподілу отримаємо:

$$\mathbf{P}\left\{\frac{|\nu_n-\theta|}{\sqrt{n}}\geq\varepsilon\right\}\approx 4\cdot 10^{-4}. \tag{14}$$

При $\varepsilon=4$ використання (13) має значну перевагу у порівнянні з (12). А отриманий результат при використанні субгауссового стандарту становить 0,99933 є досить близьким у порівнянні з використанням (14) і становить 0,9996.

При $\varepsilon\geq 5$ вирази (13) та (14) стають майже еквівалентними. Отже, як було вказано вище, використання субгауссового стандарту має місце для "великих" інтервалів.

Висновки

Використовуючи інформацію про можливість застосування моделі субгауссових величин або процесів при оцінці точності роботи ІВС можна суттєво знизити методичну похибку викликану використанням "звичайної" нерівності Чебишова. Зокрема це можна використати як при оцінці точності результатів вимірювання, так і при оцінці якості моделювання роботи різних ланок ІВС.

Модель субгауссових розподілів дозволяє покращити оцінки точності, які дає нерівність Чебишова при обробці результатів вимірювання та в методі перевірки стохастичних гіпотез.

Ефективність використання субгауссових розподілів суттєво залежить від довжини довірчих інтервалів і для довірчого інтервалу, довжина якого менша критичного, вона незастосовна.

Список літератури

1. *Козаченко Ю.В., Пашко А.О.* Моделювання випадкових процесів. Навчальний посібник для студентів механіко-математичних спеціальностей. – К.: ВЦ "Київський університет", 1999. – 223с.

2. *Марченко Н.Б.* Використання моделей субгауссівських процесів при моделюванні інформаційних сигналів // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: "Проблеми сучасної електротехніки". – 2004. – Ч. 5. –С.117-120.

3. *Марченко Н.Б.* Деякі особливості використання субгауссових випадкових процесів в інформаційно-вимірювальних системах // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2004. – Т.9, №4. – С. 139-146.

4. *Марченко Н.Б.* Про другий наслідок з нерівності Чебишева та його використання при оцінці точності вимірювань // Тези доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції "АВІА-2003". – Т.1. – Київ: Національний авіаційний університет. – 2003. – С.11.101-11.104.

УДК 004.78

Б.Г. Масловський, кандидат технічних наук, Є.Б. Артамонов
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВИКОРИСТАННЯ ЯКІСНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Використання інтелектуальних систем на основі наближених розрахунків представляє сьогодні важливу проблему науки. У даній статті наведено один з варіантів автоматизації процесу виділення нечітких множин, що значно спрощує роботу з інтелектуальними системами, які працюють на базі нечіткої логіки.

Вступ

Довгі роки людство вирішувало свої задачі та робило відкриття без використання обчислювальної техніки. Але, починаючи з другої половини XX сторіччя, обчислювальна, а згодом і комп'ютерна техніка, почали займати все більшу роль у всіх проектах.

Сьогодні неможливо уявити окремі дисципліни, а іноді і цілі наукові галузі без використання обчислювальної та комп'ютерної техніки. Тобто з часом інструмент перетворився на науку, і вже більше 30 років обчислювальну і комп'ютерну техніку вивчають, як окремий напрямок, а не як засіб, що можна використовувати час від часу.

Нові технології внесли і новий вид діяльності – робота з інформацією. Така робота обумовлюється накопиченням, збереженням і обробкою інформації, а системи, які виконують таку роботу, називають інформаційними системами. Якщо раніше робота з інформацією виконувалась з мінімальним використанням комп'ютерної техніки (тільки як засобів для збереження даних), то зараз намагаються перейти до роботи з інформацією з мінімальним застосуванням зусиль людини (розробка автоматизованих систем (АС)). Але етап автоматизації обробки інформації частіше за все примушує будувати інформаційні системи, які б могли реалізувати в автоматичному режимі міркування людини, а іноді і можливість формулювати прийняте рішення у зрозумілих для людини термінах – такі системи прийнято називати інтелектуальними.

Але інтелектуалізація етапів обробки, а іноді і збору інформації, потребує розробки і використання нових підходів при створенні інтелектуальних систем.

Аналіз проблем розробки інтелектуальних систем на різних етапах їх існування

У першому наближенні розвиток інформаційних систем в нашій країни можна обмежити етапами, що наведені у табл. 1.

Таблиця 1.

Етапи розвитку інтелектуальних систем

Номер етапу	Період, роки	Назва етапу в нашій країні	Назва етапу в іноземній літературі
Перший	1963-1972	Створення АСУ (позадачний підхід)	Системи обробки даних
Другий	1972-1985	Створення і розвиток АСУ згідно з концепцією баз даних	Управлінські інформаційні системи
Третій	1985 (триває досі)	Створення інтегрованих АСУ, обчислювальних систем і мереж, інтелектуальних систем	Системи підтримки прийняття рішень

Проте докорінних змін у поліпшенні якості управління не відбулося. Досвід функціонування АС першого та другого поколінь виявив у них низку серйозних недоліків.

1. Значна кількість функцій управління, що стосується неструктурованих і слабо структурованих процедур, залишилась без комп'ютерної підтримки. По суті в АСУ вирішені задачі щодо жорстких детермінованих алгоритмів, які не притаманні керівним структурам.

2. Стандартний набір завдань і підсистем АСУ не забезпечив її необхідної гнучкості, через що модифікація та розширення функціонального складу системи пов'язані зі значними трудовитратами.

3. Чітка централізація обробки інформації в діючих АСУ не давала змоги здійснювати процеси оперативного управління і регулювання в реальному масштабі часу.

4. Недостатня кількість оптимізаційних завдань у складі АСУ (1-5 % у середньому) пояснюється незацікавленістю користувачів у застосуванні оптимізаційних методів; відсутністю надійної та вірогідної інформації для використання оптимізаційних розрахунків; неможливістю та недоцільністю впровадження локальних оптимізаційних завдань.

5. В АСУ, як правило, відсутні замкнені комплекси завдань управління (планування, обліку, аналізу, регулювання). Різні типи АСУ (АСУП, САПР, АСУ ТП) діяли автономно і без взаємозв'язку.

6. Системи не забезпечували оперативної взаємодії з ЕОМ керівників різних рівнів. Пакетний режим функціонування АСУ (як основний) не давав змоги створювати системи підтримки прийняття управлінських рішень, що передбачають можливість вибору альтернативного рішення.

7. Упровадження систем не супроводжувалося необхідною перебудовою організаційних структур управління в умовах використання автоматизованої обробки даних.

Навіть на третьому етапі (який можна називати етапом інтелектуалізації АСУ) для розв'язання будь-якої задачі необхідно створити певні вихідні умови.

Вирішення цієї проблеми було суто технічним і полягало у розробці і впровадженні визначених державним стандартом з упровадження інформаційних технологій видів забезпечення, зокрема правового, інформаційного, програмного, математичного, методичного, організаційного, технічного, лінгвістичного та ергономічного.

Але саме визначеність наклала велике обмеження на використання інтелектуальних систем чи взагалі зробило неможливим їх використання у ряді галузей. Так ті галузі, що не піддавалися точному математичному описанню чи варіативність параметрів на вході обумовлювалась випадковими законами, було викинуто з розгляду автоматизації, як задачі, що не піддаються формалізації.

І не тільки проблема можливості формалізації не дозволяла автоматизувати дані задачі. Навіть, за умови, що задачу можна було описати і вона мала визначене рішення, отримані результати не давали ніякого представлення про те, яке рішення приймати на основі отриманих значень.

Саме ці проблеми спонукали до виникнення інтелектуальних інформаційних систем. Створенню інтелектуальних інформаційних систем сприяла розробка в теорії штучного інтелекту логіко-лінгвістичних моделей. Ці моделі дають змогу формалізувати конкретні змістовні знання про об'єкти управління та процеси, що відбуваються в них, тобто ввести в ЕОМ логіко-лінгвістичні моделі поряд з математичними.

Використання нечіткої логіки в інтелектуальних системах

Побудова моделей наближених роздумів людини і використання їх у комп'ютерних системах представляє сьогодні одну з найважливіших проблем науки. Для створення дійсно інтелектуальних систем, здатних адекватно взаємодіяти з людиною, необхідний математичний апарат, що переводить невиразні і неоднозначні життєві твердження в мову чітких і формальних математичних формул.

Опишемо особливості даного апарату. Нехай E – універсальна множина, x – елемент E, а R – певна властивість. Звичайна (чітка) підмножина A універсальної множини E, елементи якої задовольняють властивості R, визначається як множина впорядкованої пари $A = \{\mu_A$

A(x)/x}, де μ_A A(x) – характеристична функція, що приймає значення 1, якщо x задовольняє властивості R, і 0 – в іншому випадку.

Нечітка підмножина відрізняється від звичайної тим, що для елементів x з E немає однозначної відповіді "ні" відносно властивості R. У зв'язку з цим, нечітка підмножина A універсальної множини E визначається, як множина впорядкованої пари A = {μ_A A(x)/x}, де μ_A A(x) – характеристична функція приналежності або просто функція належності (ФН), що приймає значення в деякій впорядкованій множині M (наприклад, M = [0,1]) [1].

ФН вказує ступінь (або рівень) приналежності елемента x до підмножини A, Множина M називають множиною приналежностей. Якщо M = {0,1}, тоді нечітка підмножина A може розглядатися як звичайна або чітка множина.

Більш природний шлях отримання множини складається в ослабленні строгого поділу критеріїв. Зробимо це, виносячи не тільки чіткі судження ТАК, значення параметру належить до множини даного критерію або НІ – воно не належить, але і більш гнучкі формулювання ТАК – воно майже належить до даного критерію або НІ, воно майже не належить до даного критерію.

Як правило, прямі методи завдання ФН використовуються для вимірних понять, таких як швидкість, година відстань, тиск, температура і т.і., тобто коли виділяються полярні значення.

І саме це обмежує використання нечітких множин для розв'язання ряду задач, тому що не завжди експерт може виявити зони переходу значення характеристичної функції чи при нелінійній залежності функції від параметрів, чи у випадках присутності кореляції між параметрами.

Також залишається проблема автоматизації процесу виділення нечіткої множини. Як ми розуміємо, без аналізу залежності функції від параметрів або багаторазового обрахунку значень функції розв'язання даної проблеми неможливе. Системи, які аналізують залежність значення функції від параметрів відносяться до важко вирішуваних.

Але за можливості швидкого знаходження мінімального, максимального та визначеного розв'язку функції можна буде виділити три області, на базі яких можна побудувати ФН. На базі яких можна дати якісну оцінку (а також представити у кількісній формі межі даного якісного параметру).

Наприклад, при необхідності виділення трьох якісних оцінок параметрів (невдалі, нейтральні, вдалі) достатньо знайти набір розв'язків, які відносяться до групи мінімальних, середніх та максимальних значень функції.

При цьому, у зв'язку з відсутністю обмеження на його чіткість, можна використовувати наближені алгоритми вирішення задач. При цьому швидкість має більш вагоме значення, ніж точність. До таких методів можна віднести генетичний алгоритм (ГА), який є представником еволюційних алгоритмів. Також при внесенні деяких змін до стандартного алгоритму можна спростити виділення будь-якої кількості груп оцінки значень функції.

Використання генетичного алгоритму для якісної оцінки параметрів

Постановка задачі генетичного алгоритму

Розглядається загальна задача оптимізації без зупинки

$$\max(\min) f(x),\ x \in D, \qquad (1)$$

де D={x=(x1,x2,...,xN)|xi з [ai,bi],i = 1,2,...,N}, D – прямокутна область пошуку, підмножина безлічі дійсних чисел, f(x) – цільова скалярна багатопараметрична функція, що максимізується (мінімізується) і може мати декілька глобальних екстремумів, вибирається з множини D.

Про функцію f(x) відомо лише те, що вона визначена в будь-якій точці області D. Ніяка додаткова інформація про характер функції і її властивості не враховується в процесі пошуку.

Під розв'язком задачі (1) будемо розуміти вектор x = (x1,x2,...,xN).

Оптимальним рішенням задачі (1) будемо вважати вектор x*, при якому цільова функція f(x) приймає максимальне (мінімальне) значення. Виходячи з припущення про можливу багато екстремальність f(x), оптимальне рішення може бути не єдиним [2, 3].

Стандартний ГА не вирішує всіх проблем, пов'язаних з багато екстремальністю і великою розмірністю функцій, що оптимізуються. Тому необхідно використовувати гібридний ГА заснований на паралельній роботі генетичних операторів і якого-небудь градієнтного методу. У популяції, яка створена генетичним алгоритмом, вибирається кращий індивід – лідер. Цей лідер навчається окремо по градієнтному методу. Якщо його якісний показник при цьому кращий, ніж у всієї решти індивідів в популяції, то він вводиться в популяцію і бере участь у відтворенні нащадків. Якщо ж в популяції з'являється індивід, одержаний в результаті еволюції, з кращим показником, то лідером стає він.

Схема гібридного генетичного алгоритму

Нехай вимагається оптимізувати функцію

$$f(\mathrm{X}) \to \min,\ \mathrm{X} \in R^N$$

Крок 1. k = 0. Формується популяція, що складається з p індивідів $\{C^S, s = \overline{1, p}\}^k$. Перший номер приймає індивід C1 з кращим показником (мінімальним значенням функції (2)).

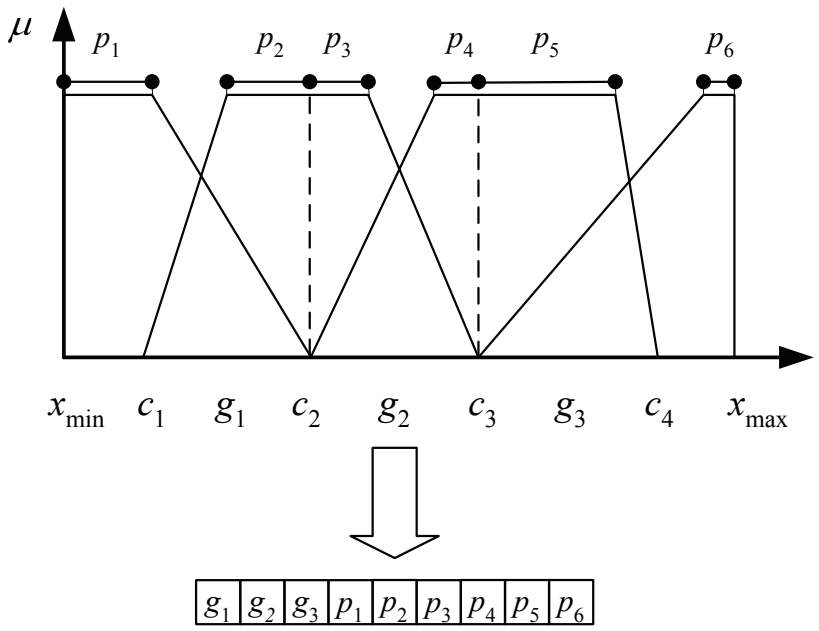
Крок 2. $k = k$+1. За допомогою одного з градієнтних алгоритмів обчислюється наступне наближення вектора X^k. Генетичним алгоритмом створюється наступна популяція $\{C^S, s = \overline{1, p}\}^k$ знаходиться кращий індивід, що визначає черговий вектор X_b^k

Крок 3. якщо $f(\mathrm{X}_b^k) < f(\mathrm{X}^k)$, то $\mathrm{X}^k = \mathrm{X}_b^k$.

Крок 4. Якщо $f(\mathrm{X}_b^k) \geq f(\mathrm{X}^k)$, то $C^1 = \mathrm{X}^k$

Крок 5. Якщо виконується умова зупинки, то кінець, інакше на крок 2.

Для кодування невідомих в хромосому ГА можна використати спеціально розроблену схему (рис. 1).



хромосома

Рисунок 1. Схема формування хромосоми в ГА

Кожна трапецеїдальна ФН визначається трьома параметрами: центром і двома відрізками (одним відрізком – для крайніх ФН), довжини яких відкладаються від центру

лінгвістичного терму і в сумі складають довжину верхньої і нижньої основ трапеції. Кожна ФН починається і закінчується в центрі сі лінгвістичного терма.

На основі отриманих рішень можна побудувати якісну оцінку обраного параметра з визначенням його ФН.

Висновки

Аналіз розвитку інтелектуальних систем показав, що використання елементів нечіткої логіки, стало результатом розвинення систем з елементами штучного інтелекту, як відповідь на неможливість комп'ютерних систем оперувати природними висловлюваннями з елементами невпевненості чи неоднозначності. Але однією з головних проблем нечіткої логіки є автоматизація формування нечітких категорій на основі наявних даних. Якщо людина може охарактеризувати деякий предмет стереотипними категоріями, то машина здатна оперувати лише чіткою інформацією.

Завдяки наведеному методу можна вирішити проблему «навчання» машини і автоматичного настроювання нечітких критеріїв. До того ж вказаний підхід значно спрощує роботу з інтелектуальними системами, які працюють на базі нечіткої логіки, і знімає з експерта цілий ряд механічних дій (наприклад, таких як кількісне описання якісних параметрів).

Література

1. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.

2. *Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П.* Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. Рига:/"Зинатне", 1990.

3. *Артамонов Є.Б.* Використання теорії «scheme» для вирішення задач розподілу матеріальних ресурсів, – Київ, Проблеми Інформатизації та управління, Випуск 12, 2005 – с. 18-22.

УДК: 004.9: 628.517.2

Ю.Г. Безымянный, доктор технических наук
(Национальный авиационный университет, Украина),
А.Н. Высоцкий, К.А. Комаров, Л.О. Тесленко
(Институт проблем материаловедения им. И.Н.Францевича НАН Украины, Украина)

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ В МАТЕРИАЛАХ

В работе рассматривается пример использования компьютерных технологий для измерения звукопоглощения материалов с применением комплекса виртуальных измерительных приборов и последующей обработкой результатов этих измерений.

В современном обществе очень остро стоит вопрос защиты человека от повышенного уровня звукового давления на производстве и в быту. На рынке предлагается огромное количество строительных отделочных и конструкционных материалов, звукопоглощающие свойства которых не соответствуют величинам, заявленным их производителями. Поэтому вопрос входного контроля звукопоглощающих свойств указанных материалов, а также создание новых материалов и элементов конструкций с высокими показателями звукоизоляции и звукопоглощения актуально.

Один из методов контроля звукопоглощения в материалах регламентируется стандартом [1]. Структурная схема рекомендованного этим документом акустического интерферометра приведена на рис.1.

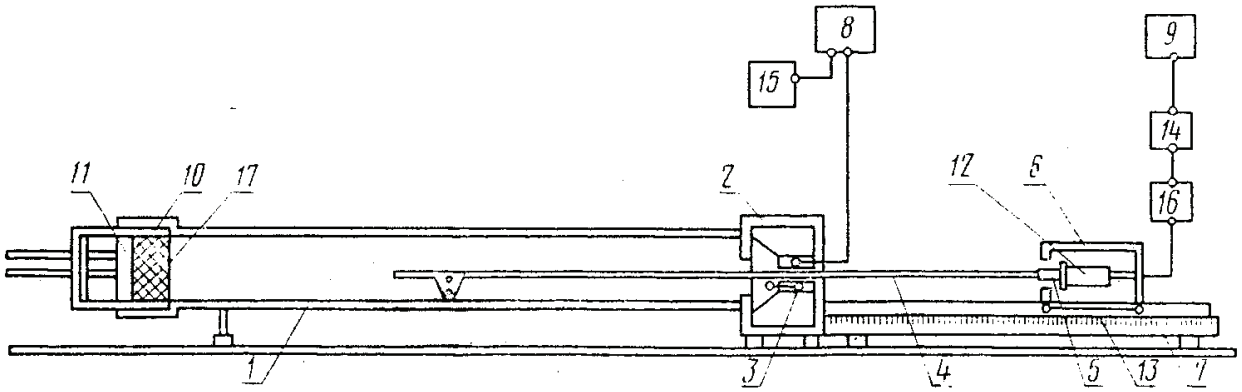


Рис.1. Структурная схема акустического интерферометра:
1 – металлическая труба, 2 – коробка, 3 – громкоговоритель, 4 – микрофонный щуп,
5 – резиновая диафрагма, 6 – микрофонная тележка, 7 – направляющая рейка,
8 – низкочастотный генератор, 9 – электронный вольтметр, 10 – обойма, 11 – поршень,
12 – микрофон, 13 – указатель отсчета, 14 – акустический фильтр,
15 – частотомер, 16 – микрофонный усилитель, 17 – образец.

В соответствие рекомендациям стандарта измерение звукопоглощения проводят следующим образом. С генератора 8 подается синусоидальный сигнал на громкоговоритель 3, частота которого контролируется частотомером 15. Громкоговоритель 3 излучает в металлическую тубу 1 прямую плоскую бегущую звуковую волну заданной частоты. На противоположном торце трубы 1 закреплён в обойме 10 и поджат поршнем 11 образец 17. Прямая волна проходит вдоль оси трубы 1 и падает на образец 17, частично поглощаясь материалом образца и частично отражаясь от его поверхности в сторону излучателя 3, образуя отражённую плоскую бегущую звуковую волну той же частоты. Энергия отражённой волны тем меньше, чем больше поглощение в материале образца 17. Взаимодействие прямой и отражённой волн приводит к образованию стоячей звуковой волны, в которой образуются зоны наибольших (пучности) и наименьших (узлы) амплитуд

давления стоячей звуковой волны. По измеренным максимальным и минимальным значениям амплитуды давлений звуковой волны определяют ту часть энергии, которая поглощается в образце и ту, которая отражается от его поверхности для данной частоты звука. Для измерений уровня давлений звуковой волны внутри трубы 1 помещен измерительный щуп 4 с микрофоном 12 на торце, который может передвигаться по продольной оси трубы 1. Сигнал с микрофона 12 поступает на усилитель 16 и далее, через акустический фильтр 14, на электронный вольтметр 9, где измеряется значение амплитуды электрического сигнала, пропорционального уровням давлений звуковой волны в различных сечениях трубы 1. Диапазон частот звуковых волн, для которых возможно проведение корректных измерений звукопоглощения в материале образца, зависит от геометрических размеров трубы 1, и составляет: для трубы диаметром 100 и длиной 1000 мм от 125 до 2000 Гц, для трубы диаметром 25 и длиной 250 мм от 1600 до 8000 Гц.

Описанный аппаратный комплекс состоит из морально устаревших измерительных приборов на радиолампах, производившихся более полувека назад. Общеизвестными недостатками таких приборов являются: повышенное потребление энергии питания, необходимость длительного предварительного прогрева, отсутствие автоматической калибровки, трудоемкость обслуживания, большие габариты и масса. Сегодня существует огромное количество виртуальных измерительных приборов, производимых серийно и имеющих гораздо более выгодное соотношение цена/качество, чем традиционные лабораторные измерительные приборы при сопоставимом и более высоком уровне точности измерений и гораздо более высоких эргономических свойствах и возможностях последующей автоматизированной обработки и представления результатов измерений.

Нами разработана и создана компьютерная система для измерения звукопоглощения в материалах. Структурная схема этой системы показана на рис. 2, а внешний вид – на рис. 3.

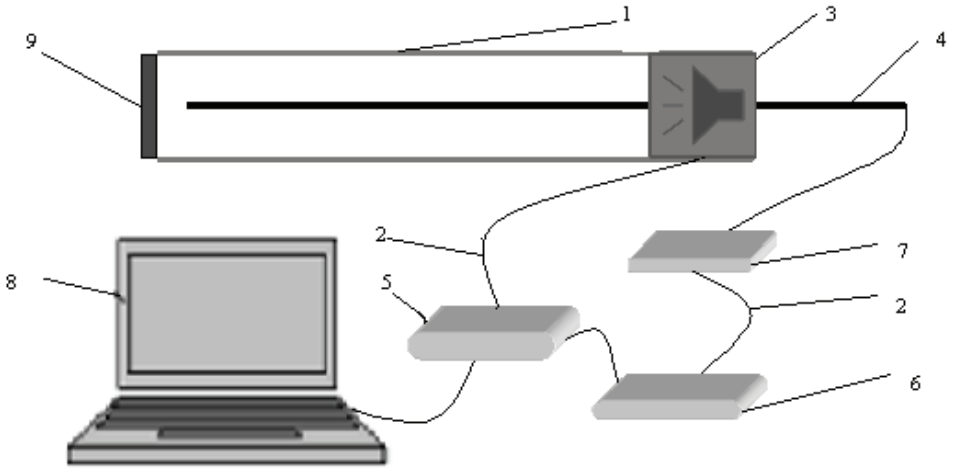


Рис.2. Структурная схема компьютерной системы для измерения звукопоглощения в материалах:
1 – акустическая измерительная камера (в том числе громкоговоритель 3, микрофонный щуп с микрофоном 4 и образец 9); 2 – соединительные кабели; 5 – PC-осциллограф; 6 – акустический фильтр;
7 – микрофонный усилитель; 8 – компьютер.

В основу разработанной компьютерной системы для измерения звукопоглощения в материалах положены акустическая измерительная камера 1 (см. рис. 2), рекомендованная [1]. Её конструкция реализует акустическую и механическую части, изображённые на рис. 1. Для измерения амплитуды звукового давления использован стандартный высокочувствительный электретный микрофон со встроеным согласующим усилительным каскадом на полевом транзисторе. Подключение микрофона проведено по стандартной схеме с питанием +5В по кабелю USB компьютера (рис.2).

а б

Рис. 3. Внешний вид компьютерной системы для измерения звукопоглощения в материалах: для диапазона частот 1600-8000 (а) и 125-2000 кГц (б)

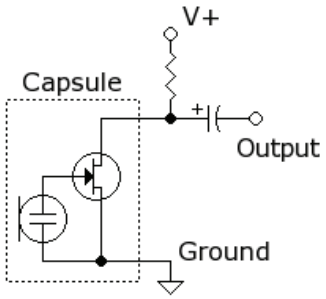


Рис.4. Схема подключения микрофона

Для формирования и обработки электрических сигналов использован PC-осциллограф PV6501. В его состав входит осциллограф, генератор и электронно-счетный частотомер. Питание осуществляется по USB-кабелю, имеется гальваническая развязка. Интерфейс PV6501 (рис.5) прост и интуитивно понятен, имеет вид, сходный с панелями классических измерительных приборов (осциллографа и генератора стандартных сигналов). В окне осциллографа есть 7-разрадный индикатор электронно-счетного частотомера с диапазоном измеряемых частот от 2 Гц до 30 МГц и цифровой индикатор амплитуды переменного напряжения, который выполняет функцию цифрового вольтметра 9. Функции генератора, частотомера и вольтметра дублируются аналоговыми приборами (см. рис. 3).

Мощности выходного сигнала генератора PV6501 недостаточно для обеспечения рабочего звукового давления в акустической измерительной камере 1 (см. рис. 2). Для этих целей использован аналоговый усилитель. Микрофонный усилитель 7 и акустический фильтр 6 между выходом согласующего каскада микрофона 4 и входом осциллографа 5 (см. рис. 2) выполнены по оригинальным схемам.

Расчет коэффициента звукопоглощения ведется с применением электронных таблиц Microsoft Exel по известным алгоритмам [1].

Результаты измерений звукопоглощения в эталонных материалах с помощью разработанной компьютерной системы (рис. 6) хорошо согласуются с аналогичными значениями измерений других авторов, например [2].

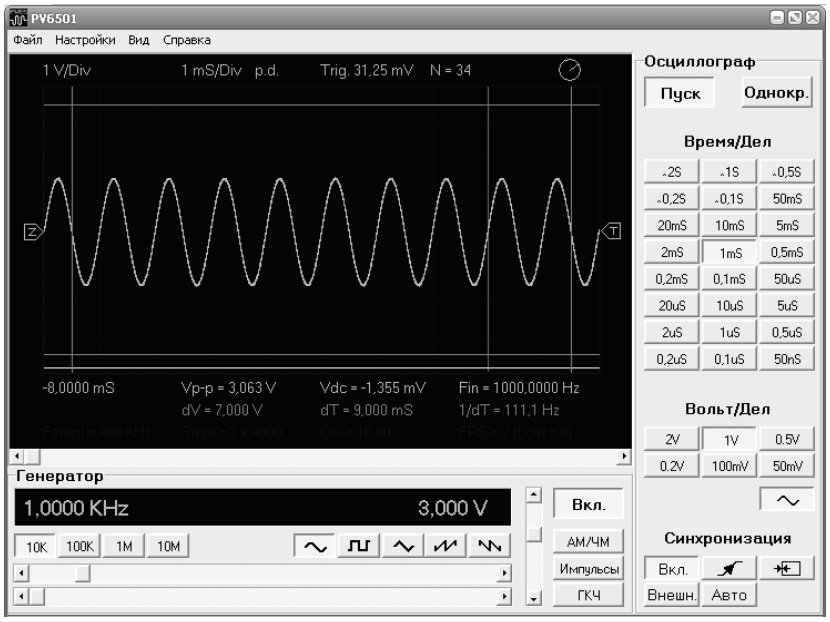


Рис.5. Интерфейс USB PC-осциллографа PV6501

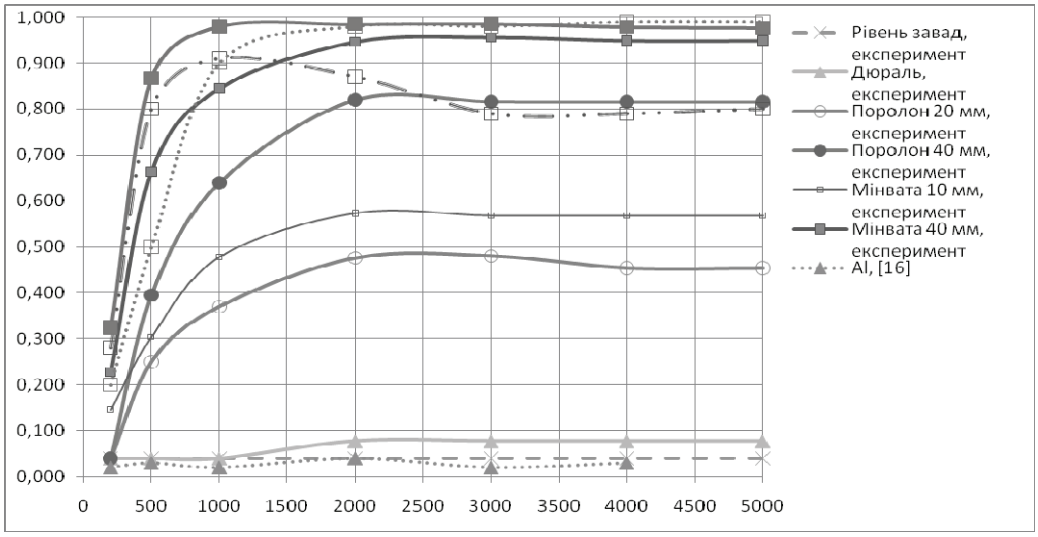


Рис. 6. Результаты тестовых испытаний системы

Выводы

Предложенная компьютерная система была изготовлена, аппаратно и программно отработана, а так же проверена на эталонных материалах. Поэтому она может быть использована для измерения коэффициента звукопоглощения различных материалов.

В процессе проведения экспериментов выявлены определенные недоработки аппаратной части интерферометра, которые устраняются в настоящее время. Также намечены пути совершенствования программной части комплекса.

Список литературы

1. ГОСТ 16297-80 «Материалы звукоизоляционные и звукопоглощающие. Методы испытаний» - М.: Госуд. комитет по делам строительства, 1980. – 12 с.

2. *Alporas Aluminium Foam*: production process, properties, and applications / T.Mioshi, M.Itoh, S.Akiama, A.Kitahara // Advanced engineering materials. – 2000 – Vol. 2, 4. – p.179-183.

УДК 519.872

С.В. Пустова, кандидат технічних наук,
(Національний авіаційний університет, Україна)

БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА ЧЕРГ З ПОВЕРНЕННЯМИ З НЕЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИМИ ЧАСАМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ

У статті розглядається багатоканальна система черг з неекспоненціальними часами обслуговування заявок без втрат. Побудовано аналітичну модель цієї системи. Розроблено чисельний метод її розв'язання. Представлено деякі графічні результати.

Теорія систем черг з поверненнями отримала широкий розвиток останні 20 років [1–2], надавши можливості удосконалення технології дослідження і проектування нових складних систем. Такі системи характеризуються наступною поведінкою. Якщо заявка надходить до системи, у якій усі канали обслуговування і усі (за їх наявності) місця у черзі зайняті, вона залишає систему на деякий випадковий проміжок часу (іншими словами йде на орбіту, або утворює ждерело повторних заявок), а потім знову повторює спробу отримати обслуговування. Орбіта – це віртуальне середовище накопичення заявок, які не змогли одразу отримати обслуговування. Заявки, які знаходяться на орбіті, можуть називатись поверненнями, повторними заявками або викликами, клієнтами, що повертаються до системи.

Бібліографічний аналіз з теорії систем черг з поверненнями показує, що майже всі визначні результати, як аналітичні, так і статистичні, отримані для експоненціально розподілених часів. Хоча в деяких роботах (наприклад, [3–4]) розглядається цикл орбіти з неекспоненціальними часами розподілу викликів.

Системи черг з поверненнями мають широке прикладне застосування у телекомунікаційніх системах і мережах [3–5], у банківських і фінансових системах, у системах посадки літаків. Ігнорування потоку повторних заявок може призвести до значних похибок у інженерних рішеннях, особливо це стосується проектування сучасних складних систем.

Класифікація Кендалла. Згідно з класифікацією Кендалла системи черг можна описати за допомогою наступного виразу [5]

$$A/B/s/m/N/O/K$$

де A and B – розподіли інтервалів між надходженням заявок і часами обслуговування відповідно,

s – кількість каналів обслуговування,

m – кількість місць очікування чи місць очікування та кількості каналів обслуговування (розмір системи),

O – ємність орбіти – максимальне число викликів, що можуть знаходитись на орбіті,

H – система з втратами (якщо H = NL, то система вважається системою без втрат),

K – розподіл викликів на циклі орбіти.

Якщо четверта позиція в нотації Кендалла відсутня, то припускають, що $m = 0$. Якщо відсутня п'ята позиція, то припускають, що $K = M$, тобто інтервали часу між викликами на циклі орбіти розподілені експоненціально.

Постановка задачі. Розглянемо систему черг типу $M/E_2/c$ поверненнями, тобто бакатоканальну систему з Пуасонівським вхідним потоком заявок, з експоненціальним розподілом інтервалів часу між викликами на циклі орбіти, з часами обслуговування, розподіленими за законом Ерланга 2-го порядку, з нескінченною орбітою, без втрат з метою знаходження ймовірнісних характеристик системи.

Опис системи. Розглянемо систему (рис. 1) з c каналами, до якої надходить Пуассонівський потік заявок з інтенсивністю λ. Якщо у системі є вільний канал обслуговування, заявка отримає обслуговування одразу ж і залишить систему після цього. В

інакшому випадку, якщо усі канали зайняті на час надходження заявки, то вона стає джерелом повторних викликів (повернень). Такі виклики і утворюють орбіту. Кожне таке джерело утворює потік повторних заявок, які будуть намагатись отримати обслуговування до тих пір, поки один із каналів не звільниться. У такому випадку джерело повернень зникає.

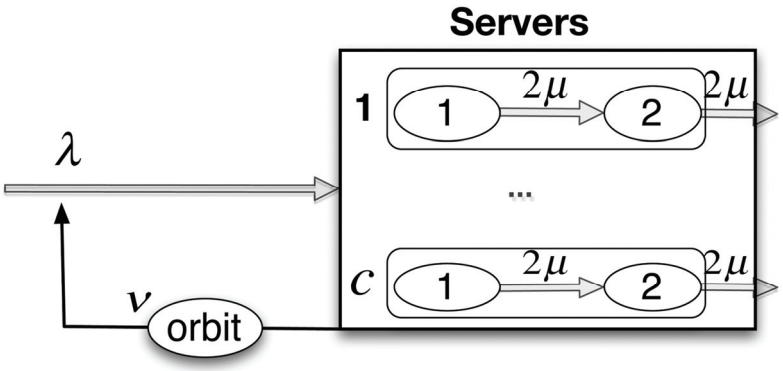


Рис. 1. Функціонування системи

Припустимо, що інтервали між вдалими повторними спробами розподілені експоненціально з параметром ν, а часи обслуговування розподілені за законом Ерланга другого порядку з параметром μ (з щільністю розподілу $b(x) = (2\mu)^2 xe^{-(2\mu)x}$). Також, припустимо, що інтервали між надходженням викликів, інтервали між поверненнями та часами обслуговування є взаємонезалежними.

Аналітична модель. Функціонування розглядуваної системи можна описати за допомогою тривимірного процесу $(Z(t), X(t), Y(t))$, де $X(t)$, $Y(t)$ є кількістю зайнятих каналів на першій і другій фазах у момент t відповідно, $X(t)+Y(t) \le c$ – кількість зайнятих каналів, $Z(t)$ – кількість повторних заявок у момент t. Враховуючи викладені припущення, процес $(Z(t), X(t), Y(t))$ є Марковським з $S = \{0, 1, ...\} \times \{0, 1, ..., c\} \times \{0, 1, ..., c\}$.

Визначимо інфінітезімальні інтенсивності процесу $(Z(t), X(t), Y(t))$ для часу $(t, t+dt)$.

Зі стану (k, i, j), $k \ge 0$, $i = \overline{0,c}$, $j = \overline{0,c}$, $i + j \le c$ за час dt система може з імовірністю (рис. 2)

- λdt перейти у стан $(k, i+1, j)$, $i + j < c$, $i < c$ (новий первинний виклик надійшов до системи і зайняв вільний канал);
- λdt перейти у стан $(k+1, i, j)$ (новий виклик надійшов до системи і, знайшовши усі канали зайнятими, пішов на орбіту);
- $k\nu$ перейти у стан $(k-1, i+1, j)$, $i + j < c$, $i < c$, $k > 0$ (один із повторних викликів зробив вдалу спробу отримати обслуговування);
- $2\mu i$ перейти у стан $(k, i-1, j+1)$, $i > 0$, $j < c$ (один із викликів закінчив обслуговування на першій фазі);
- $2\mu i$ перейти у стан $(k, i, j-1)$, $j > 0$ (один із викликів завершив обслуговування на другій фазі і залишив систему).

Нехай $p_{kij}(t) = P\{Z(t) = k, X(t) = i, Y(t) = j\}$ ймовірність того, що у момент t система знаходиться у стані (k, i, j), p_{kij} – відповідні стаціонарні ймовірності (якщо будь-який індекс p_{kij} менший за нуль, тоді відповідна компонента рівняння буде рівною нулю). Ці ймовірності задовольняють наступній системі рівнянь Колмогорова:

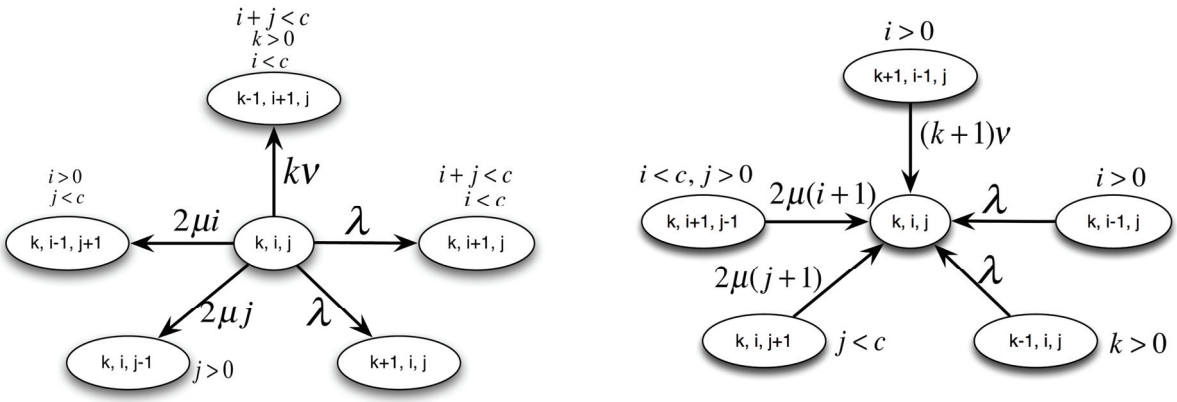


Рис. 2. Діаграми переходів системи

$$p_{kij}(2\lambda + 2\mu(i+j) + k\nu) = \lambda p_{k,i-1,j} + \lambda p_{k-1,i,j} + (k+1)\nu p_{k+1,i-1,j} + 2\mu(i+1)p_{k,i+1,j-1} + \\ + 2\mu(j+1)p_{k,i,j+1},\ 0 < i < c, 0 < j < c, i + j < c \quad (1)$$

$$p_{kij}(\lambda + 2\mu(i+j) + k\nu) = \lambda p_{k,i-1,j} + \lambda p_{k-1,i,j} + (k+1)\nu p_{k+1,i-1,j} + 2\mu(i+1)p_{k,i+1,j-1} \\ 0 < i < c, 0 < j < c, i + j = c \quad (2)$$

$$p_{k00}(2\lambda + k\nu) = \lambda p_{k-1,0,0} + 2\mu p_{k,0,1}, k > 0, \quad (3)$$

$$p_{k0c}(\lambda + 2\mu c) = \lambda p_{k-1,0,c} + 2\mu p_{k,1,c-1}, k > 0, \quad (4)$$

$$\lambda p_{000} = \mu p_{001}, \quad (5)$$

$$p_{00c}(\lambda + 2\mu c) = 2\mu p_{0,1,c-1}, \quad (6)$$

$$p_{0c0}(\lambda + 2\mu c) = \lambda p_{0,c-1,0} + \nu p_{1,c-1,0}. \quad (7)$$

Умова нормування

$$\sum_{k=0}^{\infty}\sum_{i=0}^{c}\sum_{j=0}^{c} p_{kij} = 0,\ i + j \le c \quad (8)$$

Досить важко отримати аналітичний розв'язок системи (1) – (8). Одним із методів є обмеження ємності орбіти досить великою константою L. Тоді система (1) – (8) буде скінченною і ергодичною.

Чисельне розв'язання системи. Систему (1) – (8) з обмеженою орбітою можна розв'язати за допомогою стандартних процедур на комп'ютері. Однак, кількість пам'яті, необхідна для зберігання і оперування над великою кількістю елементів для великих L та c, є досить значною, хоча багато елементів головної матриці такої системи є нулями. Час, необхідний на обробку такої системи, теж доосить тривалий. Тому було запропоновано розв'язати систему (1) – (8) з обмеженою орбітою з використанням технології розріджених матриць.

Розрідженими називають матриці, переважна більшість елементів яких є нулями. Методи розріджених матриць потребують значно меншої пам'яті комп'ютера і часу на обчислення. Доведено, що час обробки елементів розрідженої матриці пропорційний кількості її ненульових елементів.

Нехай $B = \lim_{t\to\infty} P\{X(t) + Y(t) = c\}$ ймовірність того, що усі канали зайняті (так звана ймовірність блокування). Було отримано залежність ймовірності блокування B від ємності орбіти L (табл. 1). Коли $L \to \infty$ можна побачити, що B прямує до певного значення, тобто обчислена ймовірність блокування узгоджується з ймовірністю блокування початкової необмеженої системи (1) – (8).

Таблиця 1 – Залежність B від L ($c=10, \lambda=10, \mu=1, \nu=5$)

L	B
1	0,947783573
5	0,980924289
10	0,989509608
50	0,997672271
100	0,998818438
300	0,999602074
500	0,999760748
1000	0,999880187
2000	0,999880187

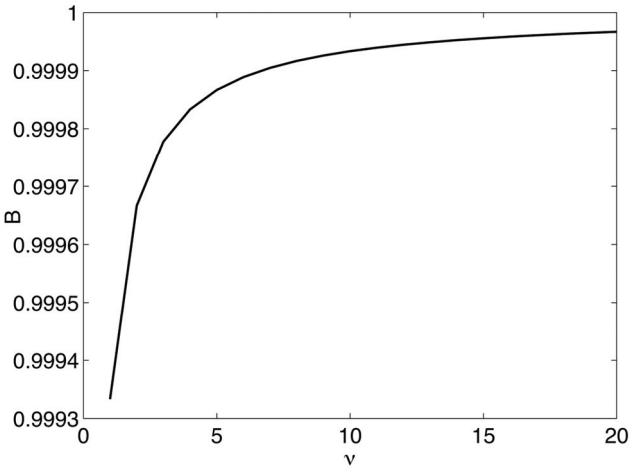


Рис. 3. Залежність B від ν ($c=5, \lambda=2, \mu=1$)

Висновки

У даній роботі було розглянуто багатоканальну систему черг з поверненнями з неекспоненціальними часами обслуговування. Було побудовано аналітичну модель системи черг типу з орбітою, заявки на циклі якої розподілені за законом Ерланга 2-го порядку. Запропоновано алгоритм чисельного розв'язання системи.

Список літератури

1. *Artalejo J.R., Gómez-Corral A.* Retrial Queueing Systems: A Computational Approach. – Berlin: Springer-Verlag, 2008. – 318 p.

2. *Falin G.I., Templeton J.G.C.* Retrial queues. – London: Chapman and Hall, 1997. – 328 p.

3. *Koba E.V., Pustovaya S.V.* Call center as retrial queueing system. // J. of Automation and Inf. Sci. – 2007. – V.39 – P.37–47.

4. *Pustova S.V.* Investigation of call centers as retrial queuing systems. // Cybernetics and Systems Analysis. – 2010. –V.46. – P.494–499.

5. *Pustova S.V.* Dependence of performance indices of a call center on the distribution of calls' sojourn time in the orbit. // Cybernetics and Systems Analysis. – 2009. – V.45 – P.314–325.

УДК 004.73(042.3)

А.В. Пономаренко, аспирант
(Национальный авиационный университет, Украина)

АРХИТЕКТУРА МНОГОУРОВНЕВОЙ КОМПЬЮТЕРИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ СКВОЗНЫХ ДЕФЕКТОВ В ПРОДУКТОПРОВОДАХ

Предложена многоуровневая клиент-серверная архитектура системы обнаружения сквозных дефектов (свищей) в продуктопроводах большой протяженности, работающих под давлением.

Системы автоматизированного управления трубопроводами большой протяженности строились по так называемому «островному» принципу: каждом секторе деятельности существуют свои функциональные требования к автоматизации и применяются узкоспециализированные информационные технологии (ИТ). Кроме того, географически разнесенные подразделения крупной системы трубопроводного транспорта осуществляют автоматизацию силами ИТ компаний по своему выбору. Это приводит к затруднениям в процессе обмена между системами и в ходе сбора сводной информации по всему предприятию. Необходимой остается ручная обработка информации, крайне трудоемкая и привносящая искажения.

Предлагается создавать в рамках предприятия единую информационно-управляющую систему, в которой решаются задачи мониторинга состояния и трубопровода и обнаружения дефектов, утечек, отказов оборудования и других нештатных ситуаций. Автоматизированная и компьютеризованная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) представляет собой многоуровневую систему диспетчерского управления. На рис.1 представлена структура взаимодействия между уровнями элементов системы управления и компьютерной сети продуктопровода. Система построена на основе многоуровневой архитектуры «клиент – сервер» при использовании модульного принципа программирования. При этом серверы промежуточных уровней одновременно являются клиентами более низких уровней. Благодаря такому построению системы повышается ее гибкость и независимость решения частных задач контроля и управления.

В качестве программного обеспечения используются системы диспетчерского управления и сбора данных - так называемые *SCADA*-системы [1] и операционные системы реального времени (ОС РВ) [2]. Основу концепции *SCADA*-системы составляют автоматизированная обработка данных и управление в реальном времени. В данном случае под системой реального времени понимают систему, в которой гарантируется выполнение требуемых действий за строго определенное время. При задержке результатов больше, чем на предельно допустимое время, они становятся бесполезными, а ущерб от задержки – неприемлемым.

Определение координат расположения дефектов основано на принципах пассивной звуковой локации за выявлением и обработкой сигналов акустической эмиссии (АЭ). При диагностике линейных элементов конструкции (например, труб) минимально необходимое число каналов равняется двум. При этом в случае непрерывного, шумоподобного характера сигналов АЭ (например, свищей) наиболее эффективным методом часовой локации является измерение функции взаимной корреляции сигналов АЭ из двух разнесенных датчиков.

Особенности сигналов АЭ (сложный характер, низкий энергетический уровень, широкий диапазон частот, большой динамический диапазон и т.п.), а также большой уровень индустриальных помех и наводок в местах расположения датчиков АЭ учитываются при обосновании следующие требований к приемному тракту:

- минимальные искажения формы и параметров сигналов;
- высокая чувствительность и коэффициент усиления;
- минимальный уровень собственных шумов;

– частотная селекция сигналов АЭ и подавление внешних помех;
– тщательное экранирование от электромагнитных наводок;
– возможности оперативного регулирования параметров усилительного такта;
– температурная и временная стабильность основных параметров.

Рис. 1. Многоуровневая иерархическая система управления продуктопроводом.

Основные принципы успешного создания и функционирования единой информационно-управляющей системы:

– организация информации в виде объектов с изменяемым набором свойств;

– классификация объектов с иерархическим множественным наследованием набора свойств от типовых объектов;

– наличие мощного инструментария проектировщика для создания и конфигурирования приложений — рабочих мест пользователей и задания

логики функционирования приложений без программирования;

– поддержка механизма прикладных методов, имеющих единые правила подключения и вызова;

– настройка автоматической реакции системы на события по заданным логическим решающим правилам, действующим на всем множестве значений свойств объектов и ряда других унифицированных сущностей объектовой модели;

– открытый интерфейс подключения любого количества внешних систем и технологического оборудования с помощью механизма драйверов, обслуживающих эти устройства;

– распределенная архитектура на произвольной топологии серверов баз данных;

– реализация функционала геоинформационных систем и трехмерных представлений.

Использование современных информационных технологий и инструментария построения систем существенно снижает риски ошибочных или неудовлетворительных решений и позволяет построить единое информационное пространство предприятия. Другими словами, необходимо переходить от «островной» к «материковой» технологии автоматизации и компьютеризации информационных систем трубопроводов. Опыт применения такого подхода [3–5] показывает, что при создании инфраструктуры единой системы затраты на проектирование и конфигурирование новых приложений уменьшаются в десятки раз по сравнению с разработкой и внедрением новых изолированных систем.

Список літератури

1. *Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В.* SCADA-системы: взгляд изнутри. – М.: РТСофт, 2004. – 176 с.

2. *Зыль С.Н.* Операционная система реального времени QNX: от теории к практике. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Перербург, 2004. – 192 с.

3. *Зырин Н.В., Кашапов И.Г.* Автоматизация: от «островковой» к «материковой». // Трубопроводный транспорт (Теория и практика), 2006, № 1(3). – С. 093 – 096.

4. Звіт про науково-дослідну роботу №ДЗ/156-2005(277-ДЗ05) “Створення мобільної системи локалізації свищів в протяжних продуктопроводах, що працюють під тиском”. – К.: НАУ, 2005.

5. ОТЧЕТ № 64/1-1 об определении рыночной стоимости программного продукта системы диагностики утечек из магистральных нефтепроводов для участка нефтепровода Помары-Ужгород // ЗАО "ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ОЦЕНКИ И ЭКСПЕРТИЗ", 113054, г. Москва, ул. Дубининская, д. 35, тел. / факс 953-3533, 951-3952, e-mail: centozen@cea.ru, Лицензия МЛП № 000013. – Москва, 2001. – 32 с.

УДК 621.391.251:681.3.06

В.И. Кубицкий (ГосНИИ «Аэронавигация», Россия)

МЕТОДЫ ДЕКОДИРОВАНИЯ ОШИБОК В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Проанализированы методы и коды защиты информации от ошибок в компьютерных системах, выявлены их недостатки. Предложено использовать коды Лагранжа, для которых разработаны алгоритмы исправления стираний и одиночных ошибок. Определено количество операций в конечном поле при реализации этих алгоритмов.

Большие объёмы цифровых данных, циркулирующих в современных компьютерных системах, требуют защиты от ошибок. Появление ошибок вызвано тем, что практически во всех физических средах передачи и хранения данных присутствуют шумы, приводящие к искажениям и потерям данных.

Как известно, одним их основных способов защиты информации от ошибок является помехоустойчивое кодирование. В дуплексных каналах применяются коды, обнаруживающие ошибки, и это зачастую является достаточным, так как сигнализация об обнаруженной ошибке вызывает повторную передачу от источника. В таких каналах передатчик, прежде чем послать следующий пакет сообщения, должен получить подтверждение правильности приёма адресатом предыдущего пакета. Очевидно, что из-за ожидания подтверждений пакеты передаются с увеличенными задержками. Кроме того, запросы на пересылку, приводят к дополнительным нагрузкам на канал передачи данных, и тем самым уменьшается объём трафика в сети. К тому же, механизм обратной связи может дать положительный результат, если ошибки в пакетах или потери пакетов носят случайный характер. В противном случае, при систематических ошибках и потерях пакетов, восстановить потерянные пакеты в отведённое время с использованием обратной связи будет весьма затруднительно. Поэтому в современных компьютерных системах необходимо применять методы обмена без использования обратных каналов.

В симплексных каналах используют корректирующие коды, которые дополнительно к обнаружению ещё и исправляют ошибки.

Для обнаружения ошибок в пакетах используются контрольная сумма и коды CRC (Cyclic Redundancy Code). Для исправления ошибок в пакете используют корректирующий код Хэмминга, при этом обратный канал не используется. Однако применение кодов CRC, Хэмминга и т. п. для кодирования пакетов не решает проблему восстановления всего пакета без использования обратного канала. Не могут решить проблему другие классические помехоустойчивые коды: свёрточные коды исправляют отдельные битовые ошибки, многие блоковые коды способны исправлять пачки ошибок в отдельно взятом пакете [1].

Для восстановления целого пакета в случае его потери созданы новые помехоустойчивые стирающие коды (коды Лаби) [2], которые позволяют закодировать исходное сообщение конечной длины, состоящее из символов (или пакетов) любой одинаковой длины, потенциально неограниченным потоком кодовых символов (пакетов). В случае необходимости кодер стирающего кода по запросу всегда может добавить "на лету" (on-the-fly, on-line) небольшое число кодовых символов.

Следует отметить некоторые недостатки, которые препятствуют широкому внедрению кодов Лаби (кодов ЛТ).

Для кодов ЛТ, использующих случайную выборку соседей (исходные символы, использованные для генерации некоторого кодового символа), вероятность восстановления пакетов может существенно (и неконтролируемо) варьироваться. Некоторые пакеты, в случае неудачной выборки соседей, могут оказаться невосстановимыми даже при полном отсутствии потерь пактов.

Ввиду того, что в основе теории кодов Лаби (кодов ЛТ) лежит статистическая задача о мячах, бросаемых случайным образом в корзины, эффективность этих кодов проявляется при достаточно большом числе исходных символов (пакетов). Для кодов ЛТ количество информационных пакетов (K) разработчиком этих кодов рекомендуется порядка 10000, при

низких значениях K (порядка 100-500 пакетов) не работают статистические свойства, и эффективность кодов ЛТ может существенно снизиться.

Для полного декодирования всех исходных пакетов коды ЛТ предполагают возможность досылки кодовых пакетов до тех пор, пока все исходные пакеты не будут восстановлены. Для компьютерных систем в режиме реального времени возможность ожидания досылки отсутствует. Каждое сообщение должно быть получено (обработано) в строго определённое время, и ждать дольше этого времени пока придёт дополнительный пакет для восстановления данных сообщения нельзя.

Необходимость буферизации большого числа исходных пакетов (т. к. эффективность кодов ЛТ начинает проявляться для большого числа исходных пакетов) вызывает длительную (до нескольких десятков секунд) задержку сигнала между приёмником и передатчиком.

Для доставки сообщений в канале со стираниями может быть использован блоковый код Рида-Соломона, если символы этого кода, состоящие из m бит, рассматривать как пакеты сообщения. Однако для кода Рида-Соломона существует проблема добавления «на лету» контрольных символов. При переходе к большему числу контрольных символов требуется повторное вычисление всех ранее вычисленных контрольных символов.

Отмеченные недостатки рассмотренных кодов приводят к необходимости разработки для компьютерных систем реального времени кодов, лишённых этих недостатков. Кроме того, такие коды должны поддерживать принцип обмена без использования обратных каналов.

Одним из таких кодов может быть код Лагранжа [4], в котором символы состоят из m бит. Если эти символы рассматривать как пакеты сообщения, то код может быть использован для доставки сообщений в канале со стираниями. Для кода Лагранжа, в отличие от кода Рида-Соломона, не существует проблемы добавления «на лету» контрольных пакетов (символов). При этом для правильного приёма сообщения из k пакетов (символов) в блоке из n пакетов (символов) могут быть стёртыми любые из $r=n–k$ пакетов (символов). Это означает, что в качестве контрольных узлов в случае стирания можно взять стёртые узлы (если их не больше, чем $n–k$). Расширяясь на эти узлы, т.е. выполняя кодирование кода Лагранжа с использованием последовательного алгоритма [5], получим значения пакетов (символов), которые соответствуют стёртым значениям:

$$f(v_\xi) = -\sum_{i=0}^{s'+\xi-1} f_i \prod_{l=\xi+1}^{e} \frac{x'_i - v_l}{v_\xi - v_l}\ , \qquad \xi = \overline{1, e},$$

где $\prod_{l=\xi+1}^{e} \frac{x'_i - v_l}{v_\xi - v_l} = -L^{(i)}_{S'_{\xi-1}}(v_\xi) = L^{(\xi)}_{V_\xi}(x'_i)$, $\quad S'_{\xi-1} = S' \cup \{v_1, \ldots, v_{\xi-1}\}$, $\quad V_\xi = V \setminus \{v_1, \ldots, v_\xi\}$,

$V_e = \varnothing$, $\quad x'_i \in S'_{\xi-1}$, $\quad v_\xi \in V_\xi$;

$S' = \{x'_o, \ldots, x'_{s'}\}$ – множество узлов мощности k', оставшихся после вычеркивания стёртых узлов;

$V = \{v_1, \ldots, v_e\}$ – множество стёртых узлов мощности e;

$f(v_\xi) = f_{s'+\xi}$ – вычисленное значение пакета (символа) в ξ-ом восстанавливаемом узле;

$f_{s'+\xi-1}$ – вычисленные значения пакета (символа) в предыдущих $(\xi-1)$-ых восстановленных узлах;

f_i – значение пакета (символа) в i-ом нестёртом узле ($i = \overline{0,\ s'}$).

Количество операций в конечных полях для восстановления стёртых символов будет следующим:

$N_\oplus = (k'+e)(2e-1) - e(e+1)$, $\quad N_\otimes = (k'+e-1)(e-1)$, $\quad N_{\ominus} = e-1$.

Кроме потери пакетов (символов) пользователь может получить пакеты (символы) с ошибками. В этом случае код Лагранжа обнаружит и исправит t ошибочных пакетов (символов) при количестве контрольных пакетов (символов) равном $r=2t$.

Рассмотрим алгоритмы декодирования одиночной ошибки кодом Лагранжа.

Пусть имеем кодовое слово, определяемое полиномом

$$f(x)=\sum_{i=0}^{s+2} f_i\, L_{S\cup T}^{(i)}(x),$$

где f_i - символ кодовой комбинации; $L_{S\cup T}^{(i)}(x)$ – фундаментальные полиномы Лагранжа; $S=\{x_0,\ldots,x_s\}$ – множество информационных узлов мощности k; $T=\{\beta_1,\beta_2\}$ – множество контрольных узлов мощности 2.

Введём ошибку δ_{i_1} в i_1-ю позицию кодового слова. Тогда искажённый полином будет иметь вид:

$$\widetilde{f}(x)=f(x)+\delta_{i_1}(x)=\sum_{i=0}^{s+2} f_i\, L_{S\cup T}^{(i)}(x)+\delta_{i_1}\, L_{S\cup T}^{(i_1)}(x)=\sum_{i=0}^{s+2}\widetilde{f}_i\, L_{S\cup T}^{(i)}(x).$$

Исправить ошибку можно с помощью предлагаемого ниже алгоритма.

Последовательный алгоритм декодирования А3.

1) Вычисляются значения искажённого полинома в контрольных узлах.

Для 1-го контрольного узла имеем:

$$f^*(\beta_1)=\sum_{i=0}^{s}\widetilde{f}_i\, L_S^{(i)}(\beta_1)=-\sum_{i=0}^{s}\widetilde{f}_i\,(x_i-\beta_2)/(\beta_1-\beta_2).$$

При вычислении значения искажённого полинома $\widetilde{f}(x)$ во 2-ом контрольном узле кроме информационных символов $\widetilde{f}_i$ принятой кодовой последовательности используются принятые значения $\widetilde{f}(\beta_1)$ этого полинома в 1-ом контрольном узле:

$$f^*(\beta_2)=\sum_{i=0}^{s+1}\widetilde{f}_i\, L_{S_1}^{(i)}(\beta_2)=-\sum_{i=0}^{s+1}\widetilde{f}_i=-\sum_{i=0}^{s}\widetilde{f}_i-\widetilde{f}(\beta_1),$$

где $S_1=S\bigcup\{\beta_1\}$.

2) Определяются значения невязок:

$$R_1=\widetilde{f}(\beta_1)-f^*(\beta_1),\qquad R_2=\widetilde{f}(\beta_2)-f^*(\beta_2).$$

Анализируя величины невязок R_1 и R_2, делаем выводы о месте и величине ошибки:

- если $R_1=0,\quad R_2=0$, то ошибки нет;

- если $R_1\neq 0,\quad R_2\neq 0$ и $R_1\neq R_2$, то ошибка имела место в информационной части кодового слова;

- если $R_1=R_2\neq 0$, то ошибка произошла во 1-ом контрольном узле и величина ошибки равна R_2 (или R_1);

- если $R_1=0,\quad R_2\neq 0$, то ошибка произошла во 2-ом контрольном узле и величина ошибки равна R_2;

- если $R_1\neq 0,\quad R_2=0$, то имеют место 2 или более ошибки, сумма величин которых равна 0.

3) Вычисляются величины синдромов:

$$Q_0=R_2,\qquad Q_1=R_1(\beta_1-\beta_2)+Q_0\beta_2=R_1(\beta_1-\beta_2)+R_2\beta_2.$$

При $\beta_1=1,\quad \beta_2=0$: $\quad Q_1=R_1$.

Анализ величин синдромов Q_0 и Q_1 даёт следующее:

- если $Q_0=Q_1=0$, то ошибки нет;

- если $Q_0\neq 0,\quad Q_1=0$, то ошибка произошла в узле со значением равным 0;

- если $Q_0=Q_1\neq 0$, то ошибка произошла в узле со значением равным 1;

- если $Q_0 \neq Q_1 \neq 0$, то ошибка имеет место в узле, значение которого не равно 0 или 1;

- если $Q_0 = 0, \quad Q_1 \neq 0$, то имеют место 2 или более ошибки, сумма величин которых равна 0.

Переходим к определению места и величины ошибки. Ключевые уравнения декодирования одиночной ошибки имеют вид:

$$Q_0 = \delta_{i_1} \widetilde{x}_{i_1}^0, \qquad Q_1 = \delta_{i_1} \widetilde{x}_{i_1} = Q_0 \widetilde{x}_{i_1}.$$

4) Определяется номер позиции искажённого символа:

$$\widetilde{x}_{i_1} = Q_1 / Q_0 = [(R_1(\beta_1 - \beta_2) + R_2\beta_2)] / R_2 = R_1^{'} / R_2 + \beta_2,$$

где $R_1^{'} = R_1(\beta_1 - \beta_2)$.

При $\beta_1 = 1, \quad \beta_2 = 0$: $\widetilde{x}_{i_1} = R_1 / R_2$.

5) Вычисляется величина ошибки:

$$\delta_{i_1} = Q_0 = R_2.$$

6) Производится коррекция искажённого символа:

$$f_{i_1} = \widetilde{f}_{i_1} - \delta_{i_1}.$$

Если ошибка произошла в одном из контрольных узлов, то

$$\widetilde{f}(\beta_j) = f(\beta_j) + \delta_j = \sum_{i=0}^{s} f_i L_{S_{j-1}}^{(i)}(\beta_j) + \delta_j = f^*(\beta_j) + \delta_j,$$

и правильное значение контрольных символов определяется из выражения

$$f(\beta_j) = \widetilde{f}(\beta_j) - \delta_j = f^*(\beta_j).$$

Алгоритм декодирования требует выполнения операций в конечном поле в количестве (с учётом этапа исправления):

$$N_{\oplus} = \begin{cases} 2(n-1) & - \text{при} \quad \beta_1 = 1, \quad \beta_2 = 0, \\ 2n & - \text{при} \quad \beta_1 \neq 1, \quad \beta_2 \neq 0; \end{cases} \qquad N_{\otimes} = \begin{cases} n-1 & - \text{при} \quad \beta_1 = 1, \quad \beta_2 = 0, \\ n & - \text{при} \quad \beta_1 \neq 1, \quad \beta_2 \neq 0; \end{cases} \qquad N_{\ominus}=1.$$

Выводы

Предложенные для исправления ошибок коды Лагранжа имеют простые алгоритмы декодирования. Так при исправлении стираний декодирование сводится к вычислению стёртых символов посредством алгоритмов кодирования. Разработанные алгоритмы декодирования дают возможность выполнить их программную и аппаратную реализацию.

Список литературы

1. *Питерсон У., Уэлдон Э.* Коды, исправляющие ошибки: Пер. с англ./Под ред. Р.Л. Добрушина и С.И. Самойленко. – М.: Мир, 1976. – 596 с.

2. *Luby* M. LT Codes // Proc. of the 43rd Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS). – 2002. – P. 271-282.

3. *Амербаев В. М.* Теоретические основы машинной арифметики. – Алма-Ата: Наука, 1976. - 324 с.

4. *Кубицкий В.И.* Процедуры декодирования в каналах с ошибками и стираниями. – Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Випуск 4 (15). – К.: НАУ, 2005. - С. 118-122.

5. *Кубицкий В.И.* Процедуры кодирования и декодирования для полиномиальных кодов. – Сб. научных трудов «Эксплуатация программного обеспечения систем реального времени, построенных на базе микро- и мини-ЭВМ». – Киев: КИИГА, 1989. - С. 67-71.

УДК 004.031.43

Т.Б. Шатовская, к.т.н., доцент, О.И. Оноприенко, В.С. Барашков,
(ХНУРЭ, Украина)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ВЫПОЛНЕНИЯ ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТОВ

Использование информационных систем в образовательной отрасли позволяет повысить эффективность качества образования. В связи с усложнением заданий и ростом объема работ, повышения уровня организации и продуктивности требует и дипломное проектирование. Таким образом, очень актуальной является разработка системы, которая поможет в организации и контроле процессов, связанных с дипломированием.

Постановка задачи. Работа над дипломным проектом является трудоемким процессом, который включает множество задач, связанных с вопросами планирования работ, обмена литературой и материалами, составлением приказов и др. От правильной организации всех этих процессов зависит сложность работы и качество результата. Но правильно организовать все процессы дипломирования специалистов достаточно сложно. Поэтому, возникает необходимость в создании инструмента, который поможет в организации и управлении этими процессами.

Анализ публикаций по теме исследования. Существует довольно большое количество публикаций на тему дистанционного образования. В них предлагаются некоторые информационные системы, позволяющие организовать обучение с помощью компьютерных телекоммуникаций. Но проблеме дипломирования специалистов и вопросу организации его таким образом, чтобы сделать возможным написание дипломных проектов дистанционно до сих пор не уделялось должного внимания.

Цель. Основной целью данной статьи является описание дистанционной системы поддержки дипломирования, которая позволит улучшить организацию написания дипломных проектов, создать удобные инструменты для планирования работ, обмена информацией между участниками дипломного проектирования, составления приказов на преддипломную практику и дипломирование, а также в общем повысит качество образовательного процесса.

Введение. Дипломная работа или проект является одним из видов выпускной квалификационной работы. Ежегодно студенты, преподаватели и др. участники процесса дипломирования специалистов сталкиваются с этой задачей. Дипломное проектирование – это очень трудоемкий процесс, требующий хорошей организации и постоянного контроля, а также постоянной обратной связи между участниками этого процесса. Но учитывая современные нагрузку и объемы работ, количество студентов, а также активное распространение дистанционной формы образования, дипломирование специалистов требует нового решения, которое позволит повысить эффективность этого образовательного процесса до нового уровня.

От правильной организации процесса дипломирования зависит сложность работы над дипломным проектом и качество результата. Но успешному выполнению дипломного проекта мешает множество обстоятельств и факторов. Студент сталкивается с неудобствами уже при выборе темы дипломной работы, поскольку для этого необходимо общение с каждым преподавателем. Преподавателю, в свою очередь, необходимо, где то хранить список своих тем, студентов, претендующих на каждую тему, и то какие из них уже взяты на разработку, а какие свободные. Также трудности возникают, когда студенту нужно проконсультироваться с руководителем, обменяться литературой, материалами или файлами.

Это требует организации личной встречи, назначения удобного для обеих сторон времени и поиска аудитории. Еще труднее организовать встречу студента не только с руководителем диплома, а и с консультантом, когда необходимо координировать действия трех человек. С проблемами сталкивается также и менеджер кафедры, которому приходится работать с массой документов, постоянно искать личной встречи с преподавателями для решения организационных вопросов, извещать студентов о грядущих событиях или контрольных мероприятиях.

Необходимо найти решение, которое позволит устранить вышеперечисленные проблемы и повысить эффективность организации и контроля написания дипломных.

Необходимо создать систему, которая предоставит студентам и преподавателям возможность распределять темы дипломных работ, проводить консультации, обмениваться информацией и литературой, сдавать выполненные задания без организации личных встреч, без координирования времени и места. Также она должна позволить менеджеру кафедры планировать процесс дипломирования, разбивать его на различные задачи , назначать контрольные мероприятия и доносить информацию об этом до студентов и преподавателей. Кроме того, необходимо создать удобный инструмент для работы с приказами.

Решением может стать использование веб-приложения, исполняемого непосредственно в Интернет-обозревателе пользователя. Приложение может быть использовано на любых платформах, не требует установки и является "общедоступным" для пользования. Предлагаемое решение – дистанционная система поддержки дипломирования «Diploma».

Система позволит автоматизировать все работы, связанные с дипломным проектированием, начиная от внесения списков студентов в систему, автоматической генерации приказов на дипломирование и заканчивая подсчетом рекомендуемой оценки за дипломную работу для каждого студента.

Описание системы. Система состоит из 6 модулей, обеспечивающих ключевую функциональность:

- модуль календарного планирования;
- модуль работы с приказами;
- модуль оповещения о событиях;
- модуль обмена файлами;
- модуль работы с сообщениями;
- модуль работы с темами.

Модуль календарного планирования позволяет разбить работу над дипломным проектом на задачи и контрольные точки. Планирование разбивается на планирование для бакалавров и магистров.

Базовые функции модуля планирования:

- назначение контрольных точек для квалификационных уровней;
- изменение статуса контрольной точки для каждого студента (выполнена или не выполнена);
- разбиение работ на задачи для каждого студента;
- изменение статуса задачи для каждого студента.

Таким образом, предоставляется возможность полностью распределить время на выполнение всех работ. В качестве инструмента визуализации для календарного планирования было создано так называемую, тайм-линию. На ней отмечены даты, на которые приходятся сроки сдачи задачи или контрольная точка. Также на ней отображается какие задачи выполнены студентом, а какие нет.

Модуль работы с приказами предоставляет возможность работы с двумя видами приказов: приказы на преддипломную практику и приказы на дипломирование. Приказ находится в одном из 4 состояний:

- новый – этот статус получают все приказы, которые были только что созданы и с ними ведется какая-либо работа;

- на печать – статус, которой приказ приобретает, когда все операции над ним завершены и он готов к печати;
- подтвержденный – назначается, когда в систему был загружен электронный вариант приказа с подписями;
- удаленный – назначается приказу, если пользователь по каким либо причинам решил удалить приказ.

Модуль работы с приказами обеспечивает выполнение следующей функциональности:

- создание новых приказов по шаблону;
- добавление студентов с актуальными данными в приказ;
- изменение статуса приказа;
- генерация приказа в Excel-формате;
- загрузка электронного изображения приказа;
- загрузка готовых приказов и их редактирование.

Таким образом, предоставляется возможность формирования приказов в автоматическом режиме.

Модуль оповещения служит для уведомления студентов о событиях в системе путем отправки сообщений на электронную почту. Он позволяет пользователям системы постоянно получать важную информацию.

Базовые функции модуля оповещений:

- оповещение пользователей о приближении контрольной точки;
- напоминание об окончании срока сдачи задания;
- оповещение о появлении новых материалов или файлов;
- оповещение о новых сообщениях от других пользователей системы.

Модуль работы с файлами позволяет хранить на сервере все выполненные задания по дипломному проекту, документацию, публикации. Также его средствами студенту предоставляется литература, образцы документации и другие необходимые материалы.

Основные функции модуля работы с файлами:

- загрузка на сервер файлов;
- удаление файлов и папок с сервера с сохранением резервной копии в архиве;
- перемещение и переименование файлов и папок;
- загрузка файлов с сервера на компьютер пользователя.

Модуль работы с сообщениями обеспечивает взаимодействие и оперативный обмен информацией между пользователями системы. Студент получает возможность получить ответы на вопросы, проконсультироваться с преподавателем, получить ссылки на материалы и др.

Этот модуль обеспечивает выполнение следующего функционала:

- отправка сообщений конкретному пользователю;
- отправка сообщений всем пользователям;
- прикрепления файлов к сообщению;
- удаление своих сообщений.

Модуль работы с темами дипломных работ предоставляет собой удобный механизм управления темами.

Базовые функции данного модуля:

- создание, редактирование, удаление темы преподавателем;
- назначение консультанта по каждой теме;
- сортировка тем дипломных работ по преподавателям, по статусу (занята или свободна);
- выбор темы студентом;
- предложение студентом собственной темы.

При выборе студентом темы из списка предложенных или в случае, если студент предлагает свою тему, преподавателю отправляется запрос на сотрудничество. В случае его

подтверждения, создается комната сотрудничества, где и ведется дальнейшая работа над дипломным проектом. Доступ к ней получают преподаватель, студент и консультант. А тема становится больше недоступной для других студентов.

Для управления сайтом была разработана панель администрирования.

Функции администратора:

- Формирование общей базы студентов и преподавателей;
- Редактирование пользователей;
- Редактирование групп студентов;
- Назначение менеджера кафедры;
- Распределение нагрузки преподавателей;
- Генерация новых паролей для пользователей.

Архитектура и используемые технологии. Разработанная система использует 3-уровневую архитектуру. Слой представления данных – это приложение ASP.NET MVC, развернутое на WEB-сервере IIS. Приложение использует Javascript-библиотеку JQuery и технологию AJAX для частичного обновления страницы.

Слой доступа к данным представляет собой модель данных Entity Framework, использующую сервер MSSQL Server 2008 R2 в качестве хранилища данных в реляционном виде. Все сущности системы сгенерированы средствами этого инструмента.

В слое бизнес логики заложена логика управления поведением системы. Он представлен отдельным проектом, в котором упор делается на использовании шаблона проектирования «репозиторий». Для однократного создания объекта контекста данных на протяжении всего времени работы системы используется шаблон проектирования «одиночка». Также в этой сборке находятся вспомогательные утилиты, дополняющие сгенерированные ранее сущности новой функциональностью.

Выводы. Проанализировав проблемы и трудности, которые могут возникать в высших учебных заведения в процессе дипломирования специалистов и те возможности, которые предоставляет информационная система «Diploma», можно сделать вывод, что внедрение ее в учебный процесс позволит значительно улучшить качество образования. Предложеное решение позволит оптимизировать планирование работ по дипломному проекту, рационально распределить студентам временные ресурсы. Кроме того, станет возможным непрерывный контроль хода работы над заданием, что будет стимулировать студентов выполнять задания своевременно. Дистанционная система поддержки дипломного проектирования «DiplomA» может использоваться в любом вузе, на любой кафедре, где необходимы централизация планирования и контроля, а также общее повышение эффективности работы над дипломными проектами.

Список литературы

1. *Microsoft.* Русский MSDN. [электронный ресурс]: http://msdn.microsoft.com/ru-ru/default.

2. *jQuery.* jQuery JavaScript Library. [электронный ресурс]: http://api.jquery.com/.

3. *VP Group.* Система поддержки научно-исследовательской деятельности. [электронный ресурс]: http://www.microsoft.com/rus/education/partners/vpgroup.aspx.

4. *Sanderson S.* Pro ASP.MVC 2 Framework.— USA: Apress, 2010. — 777 p.

5. *Рейсинг Д.* JavaScript Профессиональные приемы программирования.— СПб: Питер, 2008. — 352 с.

6. *Э.Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Д. Влиссидес* Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования.— СПб: Питер, 2006. — 368 с.

УДК 004.031.43

Т.Б. Шатовская, к.т.н., доцент, И.В. Климов
(ХНУРЭ, Украина)

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ «DCITIZEN»

В развитых странах оповещения о локальных угрозах (взрыв на опасном производстве, катастрофы на транспорте и т.п.) передается через радио и телевидение. В то же время существуют такие технические возможности, что любой свидетель происшествия может сообщить о наступлении события и оповестить население и специальные службы.

Публикации по теме исследования. Научно-учебный комплекс "Информатика и системы управления" МГТУ им. Н. Э. Баумана в течение ряда лет занимается проблемами разработки теоретических основ построения интеллектуальных информационно-управляющих систем для решения экологических задач. Современные средства экологического мониторинга и обеспечивающие их информационно-управляющие системы представляют собой сложные многофункциональные многорежимные распределенные системы. В таких системах осуществляется совместная обработка сложноорганизованных данных и знаний и они должны разрабатываться на основе современных информационных технологий, которые обеспечили бы им существенное повышение уровня информационной и интеллектуальной поддержки. В связи с широким применением локальных и глобальных вычислительных сетей проблемы информатизации при решении экологических задач принимают фундаментальный характер, от решения которых зависит эффективность оповещения и предотвращение экологической ситуации (в том числе и разрушений) в том или ином районе, на предприятии или объекте.

Постановка задачи. Сейчас в мире очень активно развиваются новые цифровые технологии, но в своем большинстве городские службы остаются на старом уровне развития, поэтому этот проект один с шагов до вывода служб социального обслуживания города на новый, цифровой, уровень.

Цель. Основная цель проекта создать интерактивную социальную сеть с целью улучшения условий жизни в городе, оповещение о событиях и обработка информации касательно их, и улучшения уровня социально активных граждан.

Введение. В нашем регионе есть проблема низкой социальной активности граждан. В большинстве случаев граждан не волнует разные чрезвычайные происшествия в городе, если они не затрагивают именно их, а социальные службы, которые направленные на улучшение жизни населения не всегда исполняют свои обязательства. Решение этого вопроса требует существенных денежных ресурсов и времени. Система предупреждения чрезвычайных ситуаций значительно улучшит взаимодействие граждан с социальными службами и даст возможность гражданам сообщить и узнать о последних событиях в городе.

Система представляет собой электронную доску объявлений, и каждый человек имеет возможность обратиться со своей проблемой. Сервер немедленно отреагирует на новую заявку и уведомит социальную службу, МЧС, милицию, скорую помощь или ЖЭК, в зависимости от сообщения. Каждая заявка содержит дополнительную информацию, которая дает возможность более четко выявить проблему, а именно: указано точное время и дата подачи заявки, на карте отображаются координаты, с какой именно точки было отправлено сообщение, если человек не имеет возможности отправить координаты, она может просто указать адрес. Так же каждая заявка имеет фотографию с места происшествия, которая

подтверждает наличие актуальность и правоту заявки. Все заявки отмечаются на интерактивной карте.

С помощью системы будет возможно отслеживать новые события в регионе, время реагирования служб и отслеживать факт решения проблемы.

Так же система может предупредить влияние чрезвычайных ситуаций большого радиуса, например обширного пожара или отравления воздуха. Если случилось такое событие – пользователь, если включит функцию, получит оповещение, в таком случае он может удержаться от посещения области, в которой случилась беда, или предупредить родных, которые могут находиться недалеко от данного региона.

С помощью системы можно набрать волонтеров для устранения последствий чрезвычайных ситуаций или стихийных бедствий с помощью оповещений на сайте. Каждый может помочь своему городу. Такие мероприятия будут способствовать увеличению количества социально активных людей.

Так же можно использовать систему для уведомления про недобросовестную работу социальных служб, МЧС, ЖЭК, милиции, скорой помощи и тд. Пользователи могут уведомлять про свалки мусора на дорогах, или неисправности инженерных систем зданий, неисправное освещение дворовых площадок и так далее. С помощью системы можно будет отслеживать сроки исправления ситуации.

Система разработана с расчетом на площадь одной области, и может гибко подстраиваться под особенности каждого региона. Администратор системы может указывать специальные места и области, их название, адреса, координаты и телефоны.

Дополнительно система может использоваться проверяющими службами для контроля качества исполнения функций специальных служб, ЖЭКов, МЧС и тд, так как система сохраняет точки отсчета времени и контрольные точки при изменении статуса заявки.

Данная система должна улучшить уровень обмена информации между операторами служб и гражданами. Сейчас сообщения о чрезвычайные ситуации передаются через телефонную связь, которая подвергается влиянию различных факторов, которые уменьшают качество связи. Больше того, отсутствует сохранение информации, которая приходит к операторам. Наша система запоминает текст, изображение и координаты, которые уменьшают человеческий фактор при принятии заявки, и дает больше полезных данных оператору. Кроме того, все данные сохраняются на сервере и имеют обратную связь с социальными службами, МЧС, милицией, больницей и тд.

Описание системы. Система представляет клиент-серверное приложение, состоящее из сайта и мобильного приложения.

Мобильное приложение. Используется в качестве клиента и предназначено для отправки новых заявок на сайт.

Базовые функции mobile-программы:

- Авторизация в системе через логин и пароль или через номер;
- Возможность анонимного использования;
- Добавление фото, видео, аудио материалов с помощью камеры;
- Добавления фото, видео, аудио материалов с помощью файлового менеджера;
- Добавление названия заявки;
- Добавление описания заявки;
- Добавление координат события, если в устройстве присутствует GPS-модуль;
- Добавление адреса события, если в устройстве отсутствует GPS-модуль;
- Установка даты;
- Отправление заявки на сайт;
- Контроль над ошибками.

В связи с особенностями архитектуры различных мобильных устройств, разработана система контроля над ошибками приложения.

Функции системы контроля над ошибками:

• Перед началом, каких либо действий пользователя, система сканирует мобильное устройство на наличие модулей необходимых для оптимальной работы приложения;

• Проверка интернет соединения при запуске программы;

• Обработка ошибок приложения в условиях многопоточности для предотвращения исключительных ситуация на этапе отправки заявки;

• Интерактивное взаимодействие с пользователем в случае неисправности или неактивности GPS-модуля.

Веб-приложение. Серверная часть предназначена для получения сообщений и отображения их на сайте.

Базовые функции web-программы:

• Авторизация пользователей;

• Функция представления заявки про чрезвычайную ситуацию;

• Отображения присланных заявок на Google map;

• Отображение присланных заявок в списке;

• Анализ заявок;

• Фильтрация заявок;

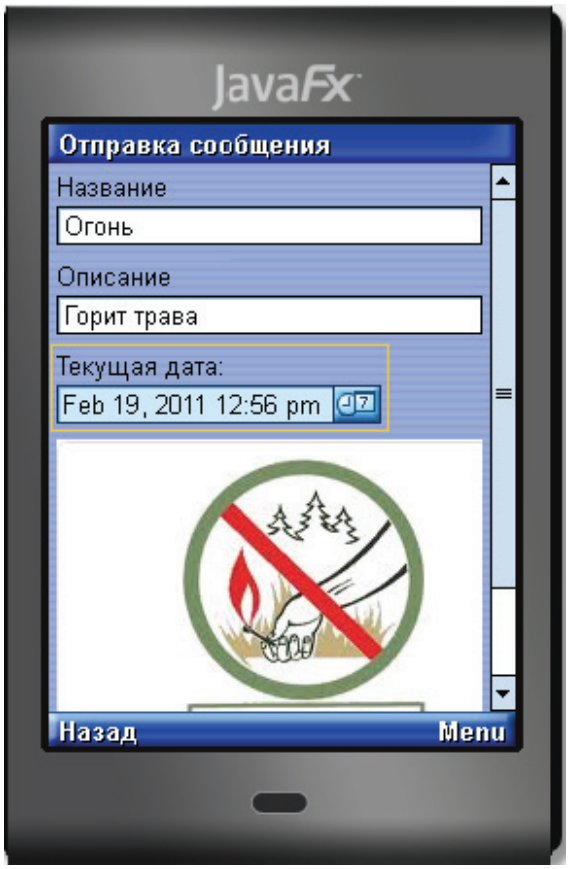


Рис. 1 Форма добавления заявки с телефона Nokia

• Модерация заявок;

• Возможность комментирования заявок;

• Система уровня доверия (для отсеивания ошибочных заявок).

Для управления сайтом была разработана панель администрирования.

Функции администратора:

• Указывать область, к которой относится система;

• Добавлять и редактировать специальные пункты;

• Редактировать типы пунктов;

• Редактировать статусы заявок;

• Добавлять и редактировать новости;

• Добавлять и редактировать странички;
• Добавлять и редактировать меню сайта;
• Редактировать шаблоны меню;
• Редактировать пользователей и конфигурировать авторизацию;
• Редактировать группы пользователей;
• Изменять пароли от панели администрирования.

Используемые технологии:

1. Google Android SDK v2.3;
2. Java ME SDK v3.0;
3. Nokia Mobile SDK v1.0.2;
4. Html 4;
5. CSS 3;
6. Ajax;
7. JavaScript 1.8;
8. PHP 5;
9. MySQL.

Вывод. Проведя параллели с зарубежными аналогами, можно сделать вывод, что система качественно изменит жизнь ее пользователей и их окружающих. Реагирование на происшествие будет занимать минимум времени, а это означает, что жизни людей, попавших в беду, будут спасены. Так же не стоит забывать о своевременности и качестве проведенных работ. Ведь с системой «DCITIZEN» контроль выполнения обязанностей МЧС, скорой помощи и других городских служб станет простым и легким. Таким образом, очень актуальна разработка индивидуальной системы быстрого оповещения об экстренных ситуациях в городах Украины, которая позволит в информационном обществе существенно повысить его информатизацию, безопасность, сэкономить средства на ликвидацию последствий аварий без внесения глобальных изменений в существующие информационные структуры и без существенного финансовой нагрузки на членов общества.

Список літератури

1. Страница разработчиков Google Android [электронный ресурс]: http://developer.android.com/index.html
2. Документация по Android OS [электронный ресурс]: http://developer.android.com/guide/index.html
3. Страница разработчиков Java ME [электронный ресурс]: http://www.oracle.com/technetwork/java/javame/overview/index.html
4. Документация по Java ME [электронный ресурс]: http://developers.sun.com/mobility/midp/articles/wtoolkit/
5. Документация по Nokia SDK [электронный ресурс]: http://www.forum.nokia.com/Develop/Java/
6. Документация по PHP [электронный ресурс]: http://php.net/manual/en/index.php
7. Страница Веб-сервера PHP [электронный ресурс]: http://www.denwer.ru/

УДК 004.8;681.3

О.І. Пурський, д.ф.-м. н, О.В. Рапотенко
(Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, Черкаси, Україна)

СПЕЦІАЛІЗОВАНА ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Визначено принципи побудови і функціонування експертної системи ідентифікації біологічного об'єкта. Функціонування експертної системи ґрунтується на використанні алгоритмів, що застосовують для вирішення задач механізми релевантного пошуку. База знань експертної системи формується на основі знань і досвіду провідних фахівців предметної області.

Останнім часом у зв'язку з підвищенням вимог до процесів керування в різних областях науки і техніки проблема ідентифікації стає виняткова важливою. Не можна забезпечити якісне керування системою, якщо її математична модель не відома з достатньою точністю. Для побудови математичної моделі можуть бути використані як теоретичні, так і експериментальні методи. Досвід, накопичений при проектуванні систем керування, переконливо свідчить про те, що не можна побудувати математичну модель, адекватну реальній системі, тільки на основі теоретичних досліджень фізичних процесів у системі. Сформована в такий спосіб математична модель, як правило, значно відрізняється від реальної системи, що приводить відповідно до зниження якості керування. Тому в процесі проектування систем керування одночасно з теоретичними дослідженнями проводяться численні експерименти по визначенню й уточненню математичної моделі системи.

Ці експерименти при розробці системи проводяться поетапно. У міру розвитку процесу проектування й нагромадження інформації модель системи уточнюється, і для її ідентифікації на кожному етапі потрібні відповідні методи. У зв'язку із цим стає актуальної завдання вибору раціонального методу ідентифікації.

Методи визначення математичних моделей за результатами експериментальних досліджень є предметом теорії ідентифікації. Залежно від обсягу апріорної інформації про систему розрізняють завдання ідентифікації в широкому й вузькому змісті. При рішенні завдань ідентифікації в широкому змісті апріорна інформація про систему або незначна, або взагалі відсутня. Система представляється у вигляді «чорного ящика», і для її ідентифікації необхідне рішення ряду додаткових завдань, пов'язаних з вибором класу моделі, оцінкою стаціонарності, лінійності та ін. Слід зазначити, що в цей час теорія ідентифікації в широкому змісті не одержала ще достатнього розвитку й перебуває в стадії становлення.

При рішенні завдання ідентифікації у вузькому змісті вважається, що відомо структуру системи й клас моделей, до якого вона ставиться. Апріорна інформація про систему досить велика. Така постановка завдання ідентифікації найбільше відповідає реальним умовам проектування й тому широко використовується в науковій та інженерній практиці. Теорії й методам ідентифікації у вузькому змісті присвячені багато робіт у вітчизняній та закордонній літературі.

Однак використання методів не обмежується ідентифікацією електричних, механічних або хімічних процесів. Незважаючи на те що кожному з таких процесів супроводжують свої проблеми, пов'язані з апаратурною реалізацією, практичні завдання ідентифікації в основному однакові для всіх цих процесів.

Отже, методи рішення завдань ідентифікації відрізняються тільки використовуваними обчислювальними засобами або математичними особливостями певних характеристик, а не галузями науки й техніки, до яких належать ті або інші характеристики.

Необхідність в ідентифікації по вхідній і вихідній інформації не обмежується тільки завданнями системотехніки й керування, а виникає майже у всіх областях наукової й практичної діяльності, таких, як техніка, фізика, хімія, біологія, економіка, теорія інформації, обробка даних і т.п. Тому розглянуті методи ідентифікації, які являють собою тільки частину

більш великої теорії оцінювання, можуть бути використані в будь-якій області, де здійснюється динамічне моделювання по вхідний і вихідної інформації.

Комплексність взаємопов'язаних структур, які характеризуються децентралізацією і розподілом функцій за ідентифікаційними ознаками, зумовлює значну складність задач ідентифікації біологічного об'єкту. Сучасний рівень розвитку технологічних засобів дозволяє створювати інформаційні системи на основі використання засобів обчислювальної техніки, про які прийнято говорити, що вони володіють певним ступенем інтелектуальності. Тобто, існують певні системи, які в рамках свого функціонування здатні реалізовувати такі процедури і механізми розв'язку задач, що по своїй суті подібні до діяльності людини під час вирішення таких же задач. Реалізація цих процедур і механізмів в автоматичному режимі безпосередньо пов'язана з використанням технічних засобів – тобто можна говорити про «штучний інтелект» (ШІ). Системи ШІ застосовуються в різних предметних областях для вирішення різних задач, які вимагають застосування різних механізмів, методів і моделей для свого розв'язку. Для функціонування систем ШІ створюються певні алгоритми, які здійснюють реалізацію тих або інших процесів чи дій, досить часто ці алгоритми ґрунтуються на використанні імовірнісних показників, оскільки процес прийняття рішення може здійснюватися в нечітко визначених умовах. В деяких випадках система ШІ, як розв'язок задачі, може надавати сукупність альтернатив, серед яких потрібно вибрати найкращу.

Загалом проблема ШІ є досить складною проблемою, яка все ще далека від свого вирішення. В той же час, технічний прогрес і розвиток засобів обчислювальної техніки дозволив вирішував ті задачі, які раніше були складними для розв'язку, або вважалися такими, що взагалі не підлягають розв'язку. На сьогодні існує велика кількість експертних систем і застосовуються вони в різних предметних областях. Враховуючи складність задач, що вирішуються в системі ідентифікації біологічних об'єктів експертна система повинна надавати високоефективні, а саме головне правильні відповіді на поставлені перед ними задачі. Це вимагає наявності експертних знань в таких областях: біологія, управління та контролю, організації та служби і навчання та тренування. Механізм функціонування будь-якої сучасної експертної системи, не залежно від предметної області її застосування, ґрунтується на використанні бази знань (БЗ) і системи логічного висновку.

Система логічного висновку містить в собі загальні формальні правила прийняття рішення [4], які можуть застосовуватися в різних предметних галузях. Характерні особливості - відмінності експертних систем, що визначають їхнє застосування в конкретних предметних галузях лежать в області бази знань. Нагромадження і організація знань є найважливішою властивістю експертної системи. На відміну від традиційного програмування де є вхідні дані і чіткий алгоритм вирішення задачі, експертні системи мають справу із складними нечітко визначеними (неформалізованими) задачами. У зв'язку з цією обставиною надзвичайно важливим є залучення в процесі навчання (створення БЗ) експертної системи провідних експертів в області біології.

Вони повинні володіти такими загальними якостями:

- великий багаж знань;
- великий досвід роботи;
- уміння точно сформулювати і правильно вирішити завдання (від цього залежить ефективність функціонування експертної системи).

По-суті тільки такий комплексний підхід до створення бази знань забезпечить ефективне використання експертної системи і забезпечить її наступні властивості:

- застосування для розв'язку задач високоякісного досвіду та знань, що представляє рівень мислення найбільш висококваліфікованих експертів в області пожежної безпеки, що приводить до правильних та ефективних рішень.
- наявність можливостей прогнозування, при яких експертної системи надає відповіді не тільки для конкретної ситуації, але й показує як змінюються ці відповіді в нових

ситуаціях, з доскональним поясненням, яким чином нова ситуація призвела до змін в рішеннях.

• можливість використання експертної системи для навчання і тренування, забезпечуючи нових службовців великим багажем досвіду і стратегій

В основу функціонування експертної системи ідентифікації біологічного об'єкта закладено механізми автоматичного логічного міркування (висновку) і методи засновані на пошуку відповідності [4]. Користувач експертної системи передає запит (факти або іншу інформацію) та отримує від експертної системи експертну пораду, відповідь або експертні знання. По своїй структурі експертна система ідентифікації біологічного об'єкта поділяється на два основних компоненти – БЗ і машину логічного висновку. База знань містить в собі знання експертів, ґрунтуючись на яких машина логічного висновку генерує рішення. Ці рішення представляють собою відповіді експертної системи на запити користувача, що бажає отримати експертні знання.

Варто зазначити, що запропоновані механізми створення і функціонування експертної системи ідентифікації біологічного об'єкта, мають певні перевагами у порівнянні з іншими інтелектуальними системами заснованими на інших механізмах розв'язку задач, зокрема:

• Підвищена доступність - для забезпечення доступу до експертної системи можуть застосовуватися різноманітні комп'ютерні апаратні засоби;

• Постійність - експертні знання нікуди не зникають, експертні системи зберігаються невизначено довго;

• Можливість отримання експертних знань з багатьох джерел - за допомогою експертних систем можуть бути зібрані і сконцентровані знання багатьох експертів в області біології, які можуть бути задіяні для вирішення задач, що виконуються одночасно і неперервно, в будь-який момент. Рівень експертних знань, сконцентрованих в експертній системі, шляхом об'єднання знань декількох експертів, може перевищувати рівень знань окремо взятої людини-експерта;

• Підвищена надійність - застосування експертної системи дозволяє підвищувати ступінь довіри до правильності прийнятого рішення, шляхом надання ще одного обґрунтованого висновку людині-експерту або посереднику при визначенні найбільш правильного (ефективного) рішення, що вибирається із сукупності альтернатив наданих людьми-експертами. (Зрозуміло, що даний метод не може застосовуватися у випадку, коли база знань експертної системи створювалася на основі знань однієї людини-експерта, що приймає участь у визначенні кращої з альтернатив). Розв'язок експертної системи повинен завжди співпадати з рішення експерта: неспівпадання може бути викликано тільки помилкою, допущеною експертом;

• Пояснення – експертна система ідентифікації біологічного об'єкта здатна детально пояснювати свої дії, які привели до конкретного висновку. Можливість отримати пояснення сприяє підвищенню довіри до правильності рішення.

• Можливість застосування в якості інтелектуальної навчаючою програми – експертна система може діяти як інтелектуальна навчаюча програма, що передає учню приклади вирішення задач, пояснюючи на чому ґрунтуються механізми її розв'язку.

Для підвищення ефективності механізмів функціонування експертної системи ідентифікації біологічних об'єктів є надзвичайно важливим забезпечення такої нової якості як інституціональна пам'ять, яка на наш погляд обов'язково повинна входити до складу бази знань експертної системи ідентифікації біологічного об'єкта. Вона створюється за рахунок взаємодій з фахівцями науково-дослідних організацій і являє собою поточну політику цієї групи людей. Цей набір знань стає збірником кваліфікованих думок з постійно обновлюваним довідником найкращих стратегій і методів використовуваних персоналом науково-дослідних установ.

Висновки

Підсумовуючи раніше сказане зазначимо, що головним завданням в процесі створення експертної системи ідентифікації біологічних об’єктів є розробка програмних засобів реалізації методів логічного висновку і пошуку відповідності, які при вирішенні задач, одержують результати, що не поступаються за якістю і ефективністю рішенням людини-експерта.

Список літератури

1. Гроп Д. Методы идентификации систем – Изд.: Мир, 1979. – 304 с.
2. Фаронов В. Программирование баз данных в Delphi 7 – Изд.: СПб.: Питер, 2006. – 459 с.
3. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных, 7-е издание. – Изд.: Издательский дом "Вильяме", 2001. – 1072 с.
4. Naylor C. Build your own expert system. - John Wiley&Sons Ltd., Chichester, 1987. – 289 p.

УДК 004.94 (043.2)

О.М. Глазок, кандидат технічних наук
(Національний авіаційний університет, Україна)

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ БІЗНЕС-СТРУКТУР

Розглядається застосування інформаційних технологій у моделюванні бізнес-процесів, що є сучасним підходом до формалізації, вивчення та оптимізації діяльності підприємств та організацій. Розглянуто програмні продукти AllFusion Process Modeler, AllFusion Modeling Suite та ARIS.

Моделювання бізнес-процесів – один з напрямків системного аналізу, що найдинамічніше розвиваються, і який міцно увійшов до сучасної практики управління розвитком бізнесу [1]. Моделювання бізнес-процесу полягає у віддзеркаленні суб'єктивного бачення потоку робіт у вигляді формальної моделі, що складається з взаємопов'язаних операцій. Метою цього виду моделювання є систематизація знань про компанію і її бізнес-процеси з можливістю представлення у наочній формі (зокрема, графічній), придатній для машинної аналітичної обробки отриманої інформації.

Для формального і, зокрема, графічного представлення бізнес-процесів використовуються різні мови, але найбільш популярними і відповідними вважаються UML і Business Process Modeling Notation. Моделювання і імітація бізнес-процесів є ключовими методами для реінжинирінгу бізнес-процесів (Business Process Reengineering).

Існує три основні способи розробки бізнес-моделей:

- графічний: дерево, блок-схема, технологічна карта і т.п.;
- табличний;
- текстовий.

Один з найбільш поширених способів побудови бізнес-моделей – це дерево (або ієрархічний список), яке дозволяє перерахувати всі елементи бізнес-моделі, показати зв'язки між ними (підпорядкування, включення і тому подібне) і параметри кожного елементу.

Таблиця також є поширеним способом побудови бізнес-моделей, який дозволяє перерахувати всі елементи бізнес-моделі (по рядках) і дати їм докладні характеристики (у стовпцях таблиці). Відомий приклад – матриця (таблиця) розподілу відповідальності.

Ще одним способом побудови бізнес-моделей є текстовий опис. Текстовий спосіб опису є найбільш наближеним до природнього способу спілкування замовників моделювання (керівників бізнесу). Однак у цьому способі складним моментом є формалізація складних бізнес-моделей, а також виникають завдання глибокого логіко-лінгвістичного аналізу текстів, який дозволив би відстежити логічні взаємозв'язки між їх елементами.

Найбільш оптимальним варіантом побудови бізнес-моделі, який і реалізований у всіх професійних продуктах бізнес-моделювания, вважається комбінація усіх трьох перелічених способів їх представлення (графіка, таблиця, текст).

Основу багатьох сучасних методологій моделювання бізнес-процесів склдають методологія SADT (Structured Analysis and Design Technique – метод структурного аналізу і проектування) і алгоритмічні мови, вживані для розробки програмного забезпечення.

При порівнянні різних засобів моделювання бізнес-систем доцільно розглядати їх особливості у наступних групах функціональних можливостей:

- засоби побудови моделей бізнес-систем;
- засоби аналізу моделей;
- засоби оптимізації модельованих систем по їх моделях;
- підтримка бібліотек типових моделей;
- оформлення регламентів і документації;
- підтримка розробки моделей баз даних і програмних засобів;

- інтеграція з іншими програмними продуктами (CASE-засобами, ERP-системами, прикладними програмами).

При побудові моделей бізнес-систем має сенс брати до уваги такі властивості засобів моделювання:

- універсальність (можливість представлення різних аспектів модельованої системи для різних класів систем і наявні способи для цього);
- розширюваність (можливість моделювання нових сторін бізнес-системи, що спочатку не розглядалися, обліку розвитку модельованої системи і тому подібне).

Засоби аналізу моделей повинні забезпечувати можливості оцінки наступних характеристик і властивостей системи:

- загальну організацію бізнес-процесів і порядок взаємодії організаційних ланок (виконавців);
- розподіл відповідальності за реалізацію окремих функцій і витрачання ресурсів системи;
- завантаженість організаційних ланок (виконавців) і інструментальних ресурсів в системі;
- основні часові і вартісні параметри модельованої системи.

Засоби оптимізації модельованих систем на основі їх моделей забезпечують інструменти управління для генерування ряду альтернатив; планування; вибору найкращої поведінки; розподілу ресурсів; встановлення пріоритетів.

Підтримка бібліотек типових моделей дозволяє використовувати раніше створені напрацювання в процесі побудови нових моделей.

До сучасних систем бізнес-моделювання, як правило, включаються засоби оформлення регламентів і документації, за допомогою якої на сучасному рівні і відповідно до загальноприйнятих стандартів створюються базові організаційні документи:

- положення про організаційно-функціональну структуру, що відображає склад бізнесів і функцій, підтримуваних в компанії, і їх розподіл усередині компанії;
- положення про політики компанії (режимну, облікову, інвестиційну, та ін.);
- положення про організацію основних підсистем бізнесу і менеджменту компанії, що містять деталізований опис функцій за напрямами діяльності;
- документовані процедури - описи бізнес-процесів у формі, яка дозволяє як представити процес сторонньому спостерігачеві, так і керуватися цим документом виконавцям операцій процесу;
- традиційні «положення про підрозділи» і «посадові інструкції» персоналу з переліками функціональних обов'язків, видів відповідальності, прав і повноважень співробітників.

Підтримка розробки моделей баз даних і програмних засобів зазвичай відноситься до можливостей засобів типу CASE або близьким до них засобів настройки інформаційних систем управління підприємством (наприклад, систем класу ERP). Така підтримка може забезпечувати наступні функціональні можливості:

- аналіз і проектування архітектури інформаційно-управляючих систем;
- проектування баз даних і файлів;
- програмування (генерація код програм);
- супровід і реінжиніринг;
- управління проектом.

AllFusion Process Modeler (раніше BPwin) – програмний інструмент для моделювання, аналізу, документування, графічного представлення і оптимізації бізнес-процесів. Програмний продукт створений компанією Computer Associates. AllFusion Process Modeler 7 дозволяє чітко документувати важливі аспекти будь-яких бізнес-процесів: дії, які необхідно виконати, способи їх здійснення і контролю, потрібні для цього ресурси, а також візуалізувати отримувані від цих дій результати. Він може створити графічне представлення схеми виконання робіт, обміну інформацією, документообігу і так далі. Особливостями продукту є підтримка різних технологій моделювання; можливість аналізу показників витрат і продуктивності; інтеграція процесів і даних; підтримка стандартних нотацій; експорт

об'єктів і властивостей в інші моделі; документування інформації в межах всієї моделі; можливість масштабування звітності без втрати якості графіків.

AllFusion Process Modeler дозволяє аналітикам і проектувальникам моделей співвідносити корпоративні ініціативи і завдання з бізнес-вимогами і процесами інформаційної архітектури і проектування додатків. Таким чином, формується цілісна картина діяльності підприємства: від потоків робіт в невеликих підрозділах до складних організаційних функцій.

AllFusion Process Modeler ефективний в проектах, пов'язаних з описом баз діючих підприємств, реорганізацією бізнес-процесів, впровадженням корпоративної інформаційної системи. Продукт дозволяє оптимізувати діяльність підприємства і перевірити її на відповідність стандартам ISO 9000, спроектувати організаційну структуру, знизити витрати, виключити непотрібні операції і підвищити ефективність. У основу продукту закладені загальновизнані методології моделювання, наприклад, методологія IDEF0, яка є федеральним стандартом США і рекомендована до використання Держстандартом Російської Федерації. Простота і наочність моделей Process Modeler спрощує взаєморозуміння між всіма учасниками процесів. Поширеність програмного забезпечення AllFusion Process Modeler дозволяє вести узгодження функціональних моделей з партнерами в електронному вигляді. AllFusion Process Modeler 7 разом з ERwin Data Modeler (раніше: ERwin), Data Model Validator (раніше: ERwin Examiner), Model Manager (раніше: ModelMart) входить до складу пакету програмних засобів AllFusion Modeling Suite, комплексне використання якого забезпечує всі аспекти моделювання інформаційних систем.

Необхідно відзначити деякі недоліки AllFusion Process Modeler 7, що стосуються інтерфейсу і зручності роботи:

- не можна міняти мишею розміри текстового поля. Через це доводиться при наборі тексту робити переведення рядка так, щоб текст за розташуванням вписався у текстове поле на діаграмі;
- відсутня можливість редагувати текст верхнього і нижнього полів (header/footer);
- труднощі з локалізацією; англійські слова в заголовках форми неможливо замінити на кирилічні;
- неможливість виділення і копіювання одного об'єкту або групи об'єктів, може бути скопійована тільки діаграма повністю;
- є обмеження за кількістю об'єктів, присутніх на діаграмі;
- властивості (колір, товщину ліній і т.п.) доводиться встановлювати окремо для кожного об'єкта (блоку, стрілки, тощо). Можливості перенесення формату або виділення групи об'єктів відсутні.

ARIS – сімейство програмних продуктів, розроблених компанією IDS Sheer AG (Німеччина), призначених для структурованого опису, аналізу і вдосконалення бізнес-процесів підприємства, підготовки до впровадження складних інформаційних систем і контролю бізнес-процесів [2]. Програмні продукти ARIS займають провідні позиції на світовому ринку в класі засобів моделювання і аналізу бізнес-процесів. Зокрема, система ARIS постійно знаходиться на верхівці рейтингу Gartner Group. Програмні продукти ARIS використовуються на всіх етапах циклу робіт із створення і розвитку бізнесу. У основу системи покладена однойменна методологія (абревіатура ARIS означає «Архітектура інтегрованих інформаційних систем»), яка увібрала в себе особливості різних методів моделювання, що відображають різні погляди на досліджувану систему. Одна і та ж модель може розроблятися з використанням декількох методів, що дозволяє використовувати ARIS користувачам з різними теоретичними знаннями і настроювати його на роботу з системами, що мають свою специфіку.

Застосування інструментальних засобів ARIS реалізує ряд важливих переваг, таких як ефективна стандартизація діяльності компанії, підвищення якості і точності проектування бізнес-процесів, підтримка багатократного використання моделей, реалізація широкого круга інструментів для аналізу бізнес-процесів.

Продукт ARIS дозволяє:

- істотно скоротити терміни виконання проектів, підвищити їх якість, ефективно управляти змінами;
- документувати і моделювати бізнес-процеси, використовуючи велику кількість типів моделей. Ці моделі описують різні аспекти бізнесу: процеси, функції, виконавців, документи, матеріали, вартості і ризики;
- формувати зв'язки бізнес-процесів з системою стратегічних цілей підприємства;
- проводити розрахунок вартості бізнес-процесів і моделювати їх роботу в динаміці;
- отримувати різноманітні звіти (посадові інструкції, регламенти, положення про підрозділи і так далі) безпосередньо з моделей бізнес-процесів;
- працювати з єдиною базою даних і зберігати інформацію про діяльність підприємства «в одному місці»;
- публікувати моделі в Інтернет з метою організації колективної роботи із створення, змін і підтримки моделей бізнес-процесів;
- настроювати бізнес-процеси під впровадження інформаційних систем mySAP;
- оцінювати операційні ризики і управляти ними;
- визначати ефективність бізнес-процесів і створювати систему управління якістю.

Продукт ARIS підтримує весь життєвий цикл управління бізнес-процессами.

Основними перевагами ARIS є :

- орієнтація на процесне управління і наявність відповідної методології;
- можливість вбудованого аналізу бізнес-систем на рівні їх складових (організаційної структури, функцій, документів, бізнес-процесів, інформаційних систем і так далі);
- використання внутрішнього репозиторія, що забезпечує зв'язність моделей і дозволяє здійснювати їх верифікацію;
- аналіз бізнес-процесів за цілим рядом параметрів;
- можливість генерації звітів для різних зрізів інформації, що зберігається в репозиторії;
- універсальність, що дозволяє вирішувати спектр завдань, зокрема опис, аналіз і представлення моделей.

Разом з тим слід відзначити наступні недоліки ARIS:

- висока ціна продукту, через яку продукт не раціональний у використанні для моделювання бізнес-процесів маломасштабних підприємств;
- ARIS складний для освоєння. Синтаксис, що використовується в ARIS, дозволяє прочитати схеми тільки людям, що пройшли спеціальне навчання;
- заняття на навчальних курсах із застосування продукту досить дорогі;
- у ARIS є проблемою створення нестандартних звітів;
- відсутня можливість розрахунку середнього часу виконання процесів.

Висновки

У доповіді було розглянуто системи моделювання бізнес-процесів AllFusion Process Modeler 7 і ARIS. Обидві ці системи є провідними продуктами на світовому ринку IT-послуг для бізнесу. Для того, щоб точніше визначити їх спільні і різні ознаки, необхідно порівняти дані системи моделювання за строго визначеними параметрами. Також залишилися не розглнутими інші відомі системи цього ж класу.

Список літератури

1. *Козлов А. С.* Проектирование и исследование бизнес-процессов. – М.: Флинта : МПСИ, 2006. – 272 с.

2. *Шеер А. В.* Моделирование бизнес-процессов. – М.: Весть-Мета-Технология, 2000. – 206 с.

УДК 004.27: 004.7

Є.В. Красовська, кандидат технічних наук, А.О. Антіпов
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПРОЦЕСОР ІЗ ДИНАМІЧНИМ ПЛАНУВАННЯМ КОМАНД

Проведено дослідження архітектур суперскалярних процесорів, шляхи підвищення їх продуктивності та розглянуто питання розв'язання проблеми виникнення конфліктів за даними за допомогою станцій резервування

Найбільш суттєвий метод збільшення продуктивності однопроцесорної системи – організація ідей паралелізму на рівні команд. Розвиток цих ідей привів до суперконвеєрних та суперскалярних архітектур. Більшість сучасних мікропроцесорів високої продуктивності побудовано з використанням суперскалярної структурної організації.

Часова діаграма (рис. 1) порівнює роботу процесорів. Верхня частина діаграми ілюструє роботу "звичайного" конвеєра, по якому проаналізовано швидкодію суперскалярної і суперконвейєрної схем, що обробляють однакову кількість команд за той же час. При цьому суперконвеєрна схема програє суперскалярній при обробці початкового фрагмента програми.

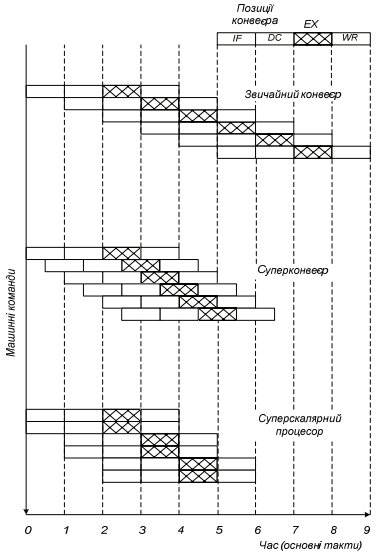


Рис. 1. Часові діаграми роботи процесорів

До класу суперскалярних відносяться процесори, в яких використовується кілька функціональних вузлів у вигляді незалежних конвеєрів операцій. Кожен з них включає декілька робочих позицій, і одночасно на ньому може опрацьовуватися кілька машинних команд. Типова архітектура суперскалярного мікропроцесора наведена на рис. 2.

Його основними компонентами є: функціональні модулі – виконання операцій із плаваючою (*FPU*) і фіксованою (*ALU*) комами, пристрій завантаження/збереження, файли регістрів, роздільна кеш-пам'ять команд і даних, а також допоміжні модулі, які забезпечують динамічне планування обчислювального процесу – пристрій зв'язку з кеш-пам'яттю 2-го рівня, блок переупорядкування команд і блок попередньої дешифрації.

В результаті аналізу факторів, від яких залежить продуктивність комп'ютерної системи, визначено, що найбільш вагомими з них є архітектура процесора та організація пам'яті. Результати цього аналізу подані на рис. 3. Права гілка відображає методи організації пам'яті, а ліва – тенденції в розвитку архітектур процесорів.

Досліджено два сімейства комп'ютерів із суперскалярною організацією: *Intel Pentium Dual-Core* та *AMD ATOM*, які втілюють більшість із існуючих тенденцій у проектуванні комп'ютерних систем. Сімейства *Intel Pentium Dual-Core* та *AMD ATOM* є представниками

комп'ютерів із *CISC*-архітектурою, у той час, як *AMD ATOM* являє собою комп'ютер із *RISC*-архітектурою.

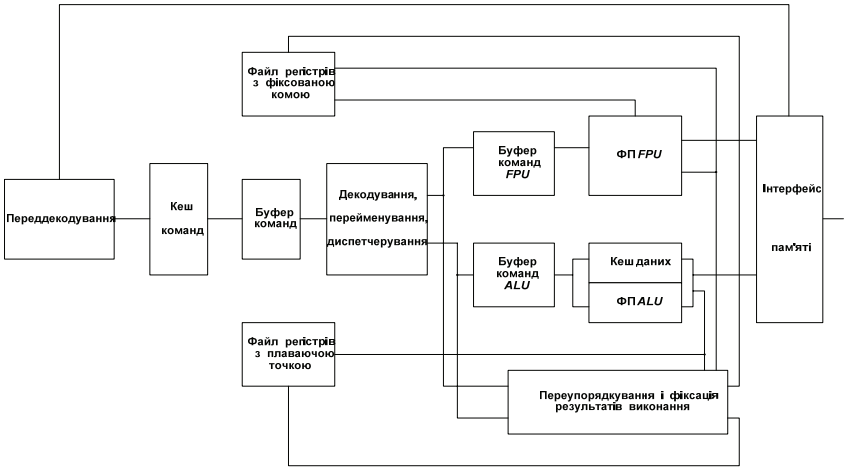


Рис. 2. Архітектура суперскалярного процесора

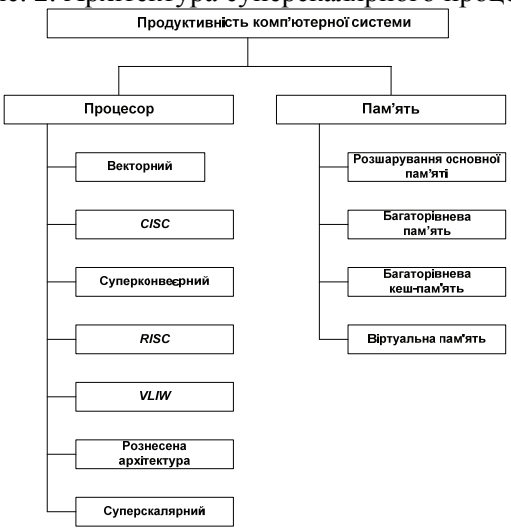


Рис. 3. Шляхи підвищення продуктивності комп'ютерних систем

При дослідженні архітектур суперскалярних процесорів було використано модель вікна виконання команд (рис. 4). При виконанні програми мікропроцесор просуває за статичною структурою програми вікно виконання, де команди можуть виконуватися паралельно при умові відсутності залежності. Залежність за управлінням майже в будь-якій статистичній програмі займає 1/5 від обсягу програмного коду (програми).

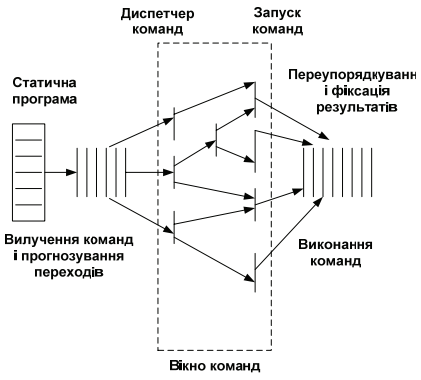


Рис. 4. Обробка команд із суперскалярною організацією

В суперскалярних архітектурах аналізується проблема мінімізації збитків по управлінню. Для усунення залежностей, викликаних командами переходів, використовується

метод передбачення, який дозволяє вилучати й умовно виконувати команди передбачуваного переходу (рис. 4).

Для прогнозування переходу використовується автоматний підхід (рис. 5). Використовується 2 стани: результати минулого прогнозу і того, який на даний час виконується. Врахування передісторії дозволяє суттєво підвищити вірогідність прогнозу. Аналіз різних джерел прогнозу для різних програмних кодів поданио на рис. 6 у вигляді інтегрованого графіка прогнозу виконання різних програмних кодів.

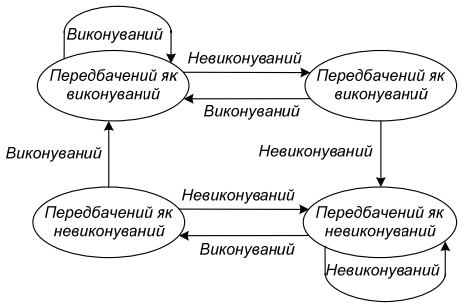


Рис. 5. Діаграма стану двобітової схеми прогнозування

Рис. 6. Точність прогнозу для адрес повернення

Не менш важливим є те, що команди, поміщені у вікно виконання, можуть бути залежні за даними (деякі з яких можуть бути усунені шляхом перейменування регістрів. Дійсною залежністю є тільки “читання після запису”. Після видалення зайвих залежностей за управлінням і даними команди можуть виконуватися паралельно). Розв’язання цієї проблеми можливе 2-ма способами централізований спосіб динамічного планування та децентралізований спосіб. Дослідимо децентралізований спосіб, який є більш ефективним, але вимагає значних апаратних затрат. При сучасному стані мікроелектронних технологій ця проблема практично знята. Децентралізація полягає у використанні у кожному операційному блоці спеціальних пристроїв, які отримали назву станції резервування. Централізована схема подана на рис. 7.

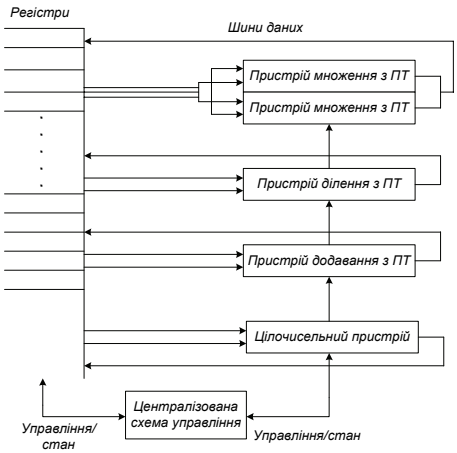


Рис. 7. Централізована схема управління

Структура блоку усунення конфліктів подана на рис. 8.

Всі буфери і станції резервування мають поля тегів, що використовуються для управління конфліктами.

Призначення пристроїв:

1. *R FPU* (блок регістрів з плаваючою точкою) призначений для зберігання операндів та результатів. Є програмно доступним. Кількість регістрів – 8 розрядністю 64.
2. *BUF* завантаження та *BUF* запису зберігають дані, які надходять з пам'яті і записуються у пам'ять.
3. *FIFO* команд *FPU* (черга команд із плаваючою точкою) – буфер з одним входженням для кожної ініційованої на виконання команди, який називається переупорядковуючим. Використовується для встановлення порядку команд при перериваннях (призупиненнях).
4. СР (станція резервування) є індивідуальною для кожного виконавчого блоку і характеризує зайнятість відповідного операційному блоку, код операції, значення операндів та станції резервування, які є джерелами операндів.
5. *ADD* та *MULT* – пристрій додавання та пристрій множення, кількістю 3 і 2 відповідно. Призначені для одночасного виконання операцій.

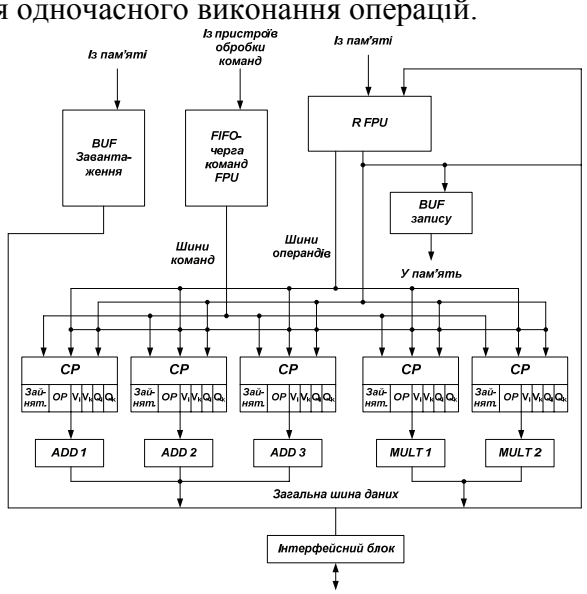


Рис. 8. Структура блоку усунення конфліктів

Висновки

В роботі було досліджено:

1. Структура суперскалярного процесора.
2. Розроблено блок динамічного планування виконання команд в процесорі з суперскалярною архітектурою.
3. Розроблена структура блоку динамічного планування на основі станцій резервування.

Суперскалярні процесори є новим напрямом у розвитку обчислювальної техніки. Такий напрям може значно підвищити її продуктивність, а також і ефективність її використання в світі сучасних інформаційних технологій.

Список літератури

1. *Шпаковский Г.И.* Организация параллельных ЭВМ и суперскалярных процессоров: Учеб. пособие. – Мн.: Белгосуниверситет, 1996. – 296 с.
2. *В.В.Воеводин*, *Вл.В.Воеводин*. Параллельные вычисления. Издательство БХВ-Петербург, 2002. – 609 с.

УДК 004.9: 53.087.62

Ю.Г. Безимянний, доктор технічних наук
(Національний авіаційний університет, Україна),
В.Г. Боровик, кандидат технічних наук, В.П. Солнцев, кандидат технічних наук
(Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Україна),
В.О. Адаменко
(Національний технічний університет України «КПІ», Україна)

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗВУКУ ПІД ЧАС СПІКАННЯ МАТЕРІАЛУ

В роботі розглянуто використання комп'ютера в якості вимірювального стенду для реєстрації та обробки звукових хвиль, які можуть виникати в процесі спікання матеріалів. Вирішено проблему узгодження периферійних пристроїв з входом комп'ютера.

Процес окислення пресованих заготовок із порошкової суміші нікелю з ніобієм демонструє існування нерівноважних фазових переходів, під час яких змінюється частота та амплітуда коливань сигналів термопари, які не можна пояснити звичайною зміною температури (рис. 1). Скоріш за все вони пов'язані з утворенням хмар іонізованих газів в поровому просторі зразків. Виникнення пульсуючих хмар іонізованих газів в поровому просторі матеріалу повинно призводити до появи акустичних коливань навколишнього повітря і зразка. Великий обсяг накопичених експериментальних даних з реєстрації динаміки температурних полів в зразках порошкових матеріалів в процесах окислення та спікання, дозволяє сподіватись на принципову можливість спостерігати акустичні ефекти, що супроводжують автоколивальні теплові процеси. Реєстрація і спектральний аналіз згаданих акустичних ефектів дозволять встановити межи амплітуд деформацій і частот коливань елементів структури матеріалів в процесі синтезу та контролювати відповідні технологічні процеси. З іншого боку вони дозволять керувати цими процесами створюючи в об'ємі деталі, що спікається (синтезується), акустичні поля з заданими амплітудно-частотними параметрами за допомогою зовнішніх збуджуючих пристроїв, що, в свою чергу, дозволить отримувати матеріали з заданими характеристиками.

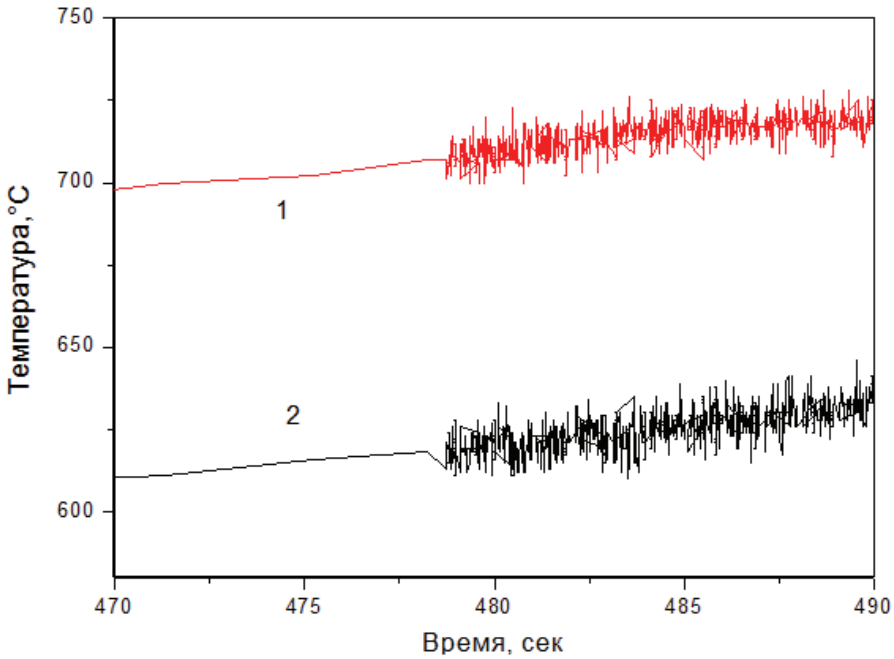


Рис. 1. Початок виникнення коливань сигналів термопар в процесі нагріву зразка

З метою спроби реєстрації згаданих акустичних коливань була зібрана дослідна установка, структурна схема якої зображена на рис. 2. Вона включає в себе зразок 1, який розташований в одному кінці кварцової трубки 2. З іншого боку в цю кварцову трубку встановлений електретний мікрофон 3, який за допомогою кабелю 4 підключено до узгоджуючого пристрою 5, та до звукової карти комп'ютера 6. Кінець кварцової трубки 2 зі зразком 1 вставлений в канал муфельної печі 6 через отвір в її дверцятах.

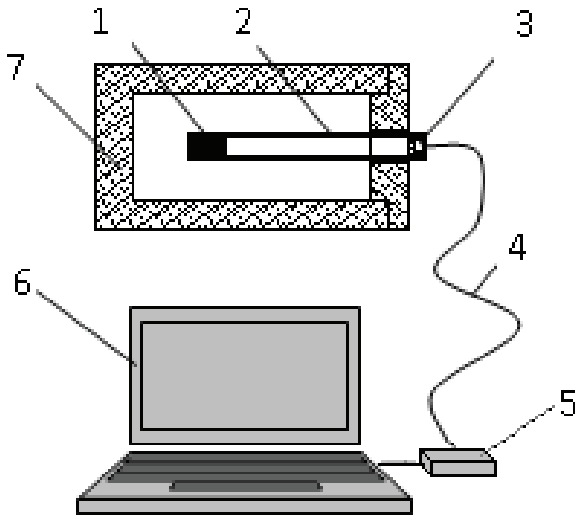


Рис. 2. Структурна схема системи реєстрації акустичного випромінювання зразка у звуковому діапазоні частот під час спікання: 1 – зразок, 2 – кварцова трубка, 3 – електретний мікрофон,

4 – кабель, 5 – узгоджуючий пристрій, 6 – комп'ютер, 7 – муфельна піч

Дана система дозволяє проаналізувати спектр в діапазоні від 20 Гц до 20кГц. При необхідності нижнє значення частоти можна зменшити незначною доробкою звукової карти комп'ютера. Верхній діапазон обмежений частотою дискретизації, яка для звукового інтерфейсу комп'ютера складає 44-48 кГц.

Електретний мікрофон має імпеданс ємнісного характеру в межах 10 пФ, тому його необхідно підключати до підсилювача з високим вхідним опором, а в конструкцію більшості мікрофонів входить попередній підсилювач на польовому транзисторі [1]. Такі мікрофони потребують зовнішнього джерела живлення. Типова схема ввімкнення зображена на рис. 3.

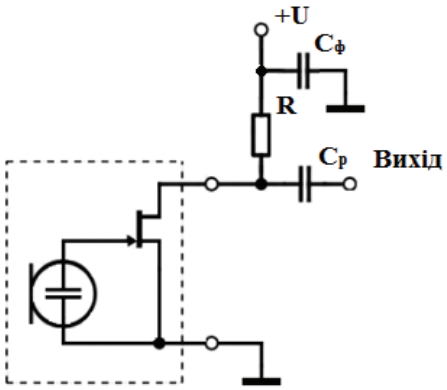


Рис. 3. Схема включення електретного мікрофону

В нашому випадку зовнішнім джерелом живлення 5 В виступає USB-порт комп'ютера. Конденсатор $C_ф$ використовується для згладжування пульсацій напруги живлення, а $C_р$ – для усунення постійної складової. Ємність обох конденсаторів 4,8 мкФ, напруга не менше 10 В. Опір резистора R вибирається експериментально, в залежності від необхідної чутливості мікрофону. При напрузі живлення 5 В його опір повинен бути в межах 1 кОм.

Максимально допустима напруга на вході більшості звукових карт складає 2 В, але для коректного відображення сигналу вона повинна бути значно меншою – в межах 0,5 В. При незначному перевищенні цієї величини спостерігається типове спотворення сигналу (рис. 4).

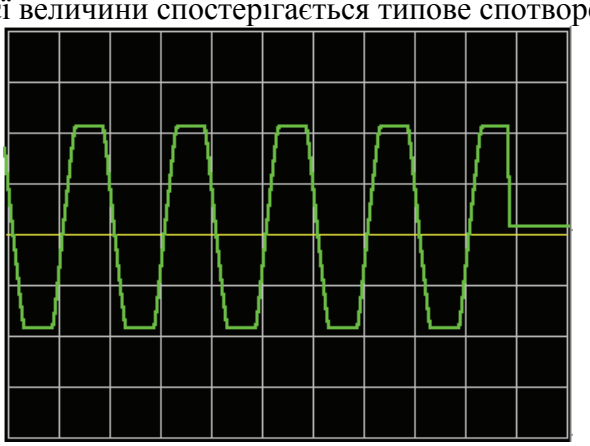


Рис. 4. Спотворення сигналу при перевищенні
рекомендованого рівня вхідної напруги

Крім різної максимально допустимої вхідної напруги звукові карти мають різний вхідний опір, тому в запропонованій експериментальній установці було використано узгоджуючий пристрій, який, крім схеми живлення мікрофону, містить дільник напруги та опорні стабілітрони для захисту входу карти від перенапруги (рис. 5). Стабілітрони вибираються з напругою стабілізації не більше 2 В, наприклад КС119, що мають напругу стабілізації 1,9 В. При перевищенні допустимої напруги сигналу на вході звукової карти відбувався пробій стабілітронів і напруга не перевищить значення 1,9 В. Опір резистора R2 вибирається нижчим вхідного опору звукової карти, наприклад 20 кОм. Резистор R1 забезпечує встановлення необхідного рівня напруги і підбирається при налаштуванні.

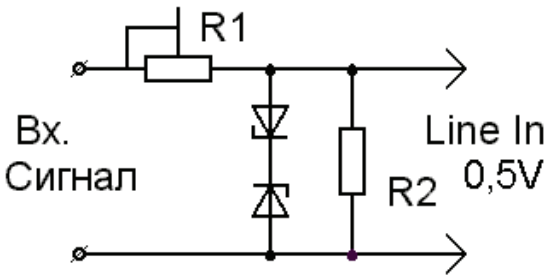


Рис. 5. Схема захисту звукової карти комп'ютера

На сьогоднішній день існує велика кількість різноманітного програмного забезпечення для використання звукової карти комп'ютера як осцилографа, частотоміра та аналізатора спектра [2]. Крім того можна використати і стандартне програмне забезпечення, яке дозволяє записати на комп'ютер сигнал з мікрофонного входу звукової карти, а вже отриманий Wave-файл можна обробити за допомогою програм САПР, наприклад MatLAB або MathCAD.

Під час експерименту було використано спеціалізовану програму для аналізу спектру SpectraLAB компанії Sound Technology, яка дозволяє проводити аналіз в трьох основних режимах: Real Time – обробка і побудова графіків в реальному часі по даним, що поступають зі звукового входу; Recorder – крім обробки в реальному часі проводиться і запис даних на

комп’ютер; Post-Processing – аналіз попередньо записаного Wave-файлу. Програма має простий, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс (рис. 6).

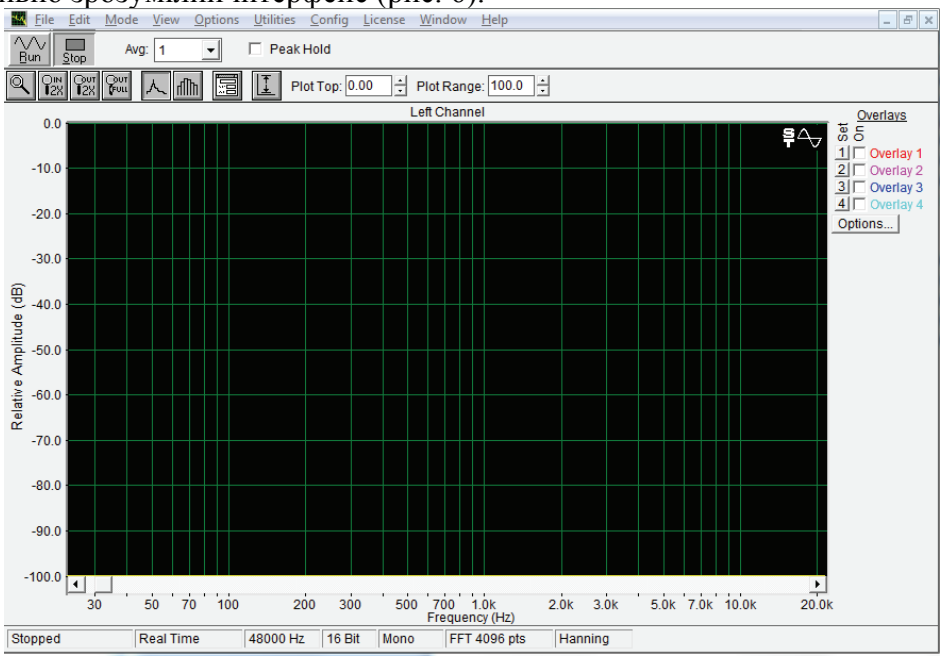


Рис. 6. Інтерфейс програми SpectraLAB

Для більш якісної роботи аналізатора доцільно виставити в налаштуваннях програми частоту дискретизації 48 кГц (замість встановленої по замовчуванню 44,1 кГц), тому що саме така частота використовується під час передачі даних сучасними AC'97-кодеками.

Налаштування експериментальної установки потрібно почати з калібрування амплітуди вимірювального сигналу. Для цього на вхід дільника подається тестовий сигнал відомої амплітуди і за допомогою резистора R1 та стандартного мікшера Windows встановлюється потрібний рівень на екрані осцилографа. Потрібно враховувати, що звуковий вхід не є повноцінним АЦП і тому достовірність передачі амплітуди в будь якому випадку не буде надто високою. Тому якщо достовірність амплітуди не важлива, то доцільніше зв’язку резистор-вбудований мікшер використати для максимального придушення власних шумів мікрофону та підсилювача. Для цього сигнал потрібно подавати вже на мікрофон і спостерігаючи спектр сигналу досягти регулюванням максимального придушення шумів.

Висновки

Проведені експерименти показали, що, при окисленні зразків порошкових матеріалів, рівень акустичних сигналів, які вони випромінюють у звуковому діапазоні частот, не перевищує рівня звичайних побутових завад. Це приводить до спотворення досліджуваного сигналу. Тому практичне застосування установки передбачає використання спеціальної заглушеної акустичної камери. Це визиває суттєві незручності. Щоб запобігти цьому, в подальшому має сенс, в першу чергу, перейти на реєстрацію сигналів в ультразвуковому діапазоні частот. Так як звукова карта комп’ютера не здатна працювати в цьому діапазоні, то доцільно використовувати інші інтерфейси комп’ютера. Наприклад USB, PCI або PCI Express, що, в свою чергу, потребує розробки більш складного апаратного забезпечення.

Розроблена дослідна установка може буде використана для аналізу акустичного сигналу у звуковому діапазоні частот і при проведенні інших експериментів.

Список літератури

1. *Матаев Г.Г.* Компьютерная лаборатория в вузе и школе. Учебное пособие. - М.: Горячая линия-Телеком, 2004 - 440 с.

2. *Гелль П.* Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс. – М.: ДМК Пресс, 1999 – 144 с.

УДК 004.89:681.51(045)

В.В. Лукашенко, кандидат технічних наук
О.П. Мартинова, кандидат технічних наук
(Національний авіаційний університет, Україна)

АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНОЮ КОМП'ЮТЕРНОЮ МЕРЕЖЕЮ

Запропонована узагальнена процедура адміністрування корпоративної комп'ютерної мережі. Розроблена функціональна схеми корпоративної комп'ютерної мережі для створення математичної моделі. Приведені характеристики структури для використання експертної системи як засобу інтелектуалізації системи управління корпоративної комп'ютерної мережі.

Важливість інтелектуалізації обробки інформації усвідомлена достатньо давно і не вимагає особливих обгрунтувань. Ступінь інтелектуалізації комп'ютерних систем і технологій є основним чинником, що визначає напрям наукових досліджень.

Для визначення характеристик корпоративної комп'ютерної мережі (ККМ) застосовані експериментальний та аналітичний підходи [1]. При використанні експериментального підходу характеристики системи формуються з результатів досвіду. Системи для моделювання функціонування ККМ розробляються з метою їх аналізу (синтезу). Завдання аналізу ККМ полягає в розрахунку параметрів мережі в цілому або окремих її фрагментів з метою визначення ступеня відповідності характеристик мережі заданим вимогам.

Для інтелектуалізації системи управління (СУ) ККМ використовуються наступні засоби: експертні системи (ЕС), імовірнісні методи теорії масового обслуговування (Марківські ланцюги) і методи причинно-наслідкового аналізу (Мережі Петрі).

Експертні системи є простим і зручним способом представлення знань і, як правило, використовуються для аналізу складних процесів. Такий підхід доцільний в невеликих базах правил [2, 3].

Методи причинно-наслідкового аналізу (мережі Петрі). Взаємодія подій у великих асинхронних системах характеризується динамічною структурою. Одним із способів опису подій є спосіб вказівки зв'язку між ними. Глобальні ситуації в системі формуються за допомогою операцій умов реалізації подій.

Імовірнісні методи теорії масового обслуговування (Марківські мережі). Сукупність взаємозв'язаних систем масового обслуговування (СМО) [4, 5], таких як Марківські СМО, носять імовірнісний характер взаємодії.

Сучасні СУ не забезпечують управління ККМ повною мірою. У зв'язку з цим необхідність вбудовування в СУ могутніх інтелектуальних засобів є актуальним завданням.

Відомі проблеми: відсутність функції прогнозування; не забезпечення достатньої адаптивності алгоритмів; усунення мережевих проблем адміністратором власноруч.

Для вирішення даних проблем необхідно використовувати могутні інтелектуальні засоби.

При розробці узагальненої процедури адміністрування використовуємо метод базування [6]. При цьому вимірюються характеристики ККМ, які згодом порівнюються з відомою базою (набором відповідних показників продуктивності, зміряних при коректній роботі мережевої системи в умовах нормального навантаження).

При базуванні ККМ необхідно визначити періоди її максимальної зайнятості шляхом запису значень показника використання мережі протягом *n*-хвилинних інтервалів під час звичайної роботи в умовах стабільної мережевої конфігурації. База мережі може змінюватися при реконфігурації мережі.

Для наочності відображення факту перевантаженості ККМ, будуємо залежність свідчень лічильників колізій від значень показника використання мережі (рис. 1).

Значення показника використання мережі зростає, а потім раптово падає. При цьому збільшується кількість колізій, що означає конкуренцію великої кількості пристроїв.

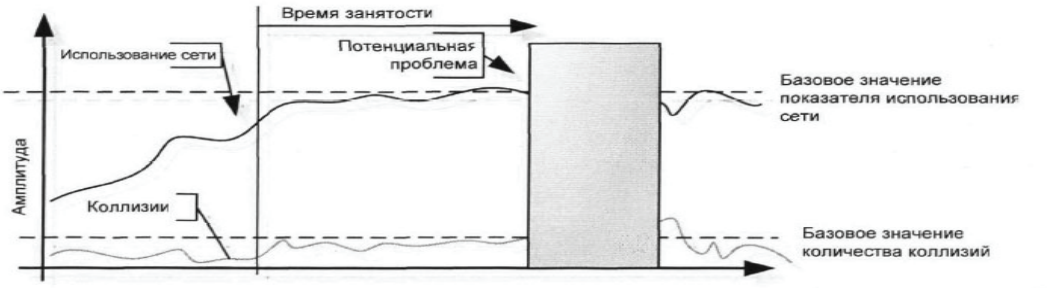


Рис. 1. Криві зайнятості ККМ

За доступ до ККМ конкурує велика кількість мережевих пристроїв, тобто ККМ, ймовірно, працювала поблизу точки свого насичення. Якщо вона насичується, то кількість колізій різко зростає, а значення показника використання мережі падає майже до нуля.

У разі, коли вищеописана ситуація трапляється рідко, то це не є проблемою, але якщо ця ситуація трапляється часто і займає багато часу, то якість роботи значно знижується.

На рис. 2 зображена функціональна схема ККМ. З погляду управління цікавими функціями є маршрутизація, передача і статистичний аналіз.

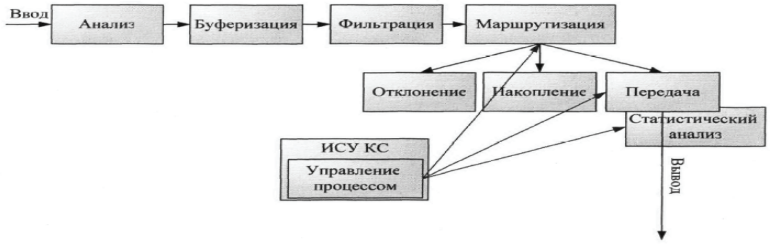


Рис.2. Функциональная схема сегменту ККМ

Мережевими пристроями є робоча станція, принтер, маршрутизатор, міст і тому подібне.

Основна функція ККМ полягає в передачі даних, що можна охарактеризувати величиною потоку, причому, в ідеалі, при передачі даних, вхідний в мережу потік, повинен бути рівний потоку, що виходить з мережі.

При описі функціональної схеми ККМ розглядаємо потік даних, що йдуть в одному напрямі (рис. 2).

Ефективність ККМ визначається, по-перше, тимчасовими затримками, по-друге, відсутністю спотворень при передачі даних, по-третє, можливістю передачі даних в будь-яку точку мережі незалежно від стану інших зв'язків.

Математична модель ККМ представлена в наступному вигляді:

$$Y_{ij} = F\{f_1(t), f_2(t), f_3(t), f_4(t), f_5(t), f_6(t)\}$$

де: Y_{ij} - потік інформації з *i*-ого вузла мережі в *j*-ый вузол;

Функціонал, визначений на безлічі значень функцій, що описують головні характеристики і параметри мережі, у фіксованих крапках визначає роботу мережі.

Таке уявлення достатнє для вирішення завдань управління і є наближенням для подальшого перекладу математичної моделі в операторне наближення, що ставить у відповідність дані функції.

$f_1(t)$ - функція швидкості передачі інформації $f_1(t) = V(t) * t / \left[W_i(t) + W_{eq}(t) + W_b(t)\right]$,

де $V(t)$ - швидкість передачі інформації, $W_i(t)$ - затримка інформації в лініях зв'язку, $W_{eq}(t)$ - затримка мережевого устаткування, $W_b(t)$ - затримка буферизації комутатора, t - поточний час;

$f_2(t)$ - функція частоти перевантаження $f_2 = N_p(t)$,

де N_p - число перевантажень, t - поточний час;

$f_3(t)$ - функція інформаційного перевантаження буфера, $f_3 = \sum N_b | k_z$ f3=x,

де N_b - кількість моментів перевантаження буфера, підсумовування ведеться по моментах, коли параметр завантаження - $k_z > 1$ (при $k_z = 0$ – буфер порожній; при $k_z \in \{0,1\}$ - в буфері є інформація; при $k_z = 1$, t - поточний час;

$f_4(t)$ - функція доступності мережевих пристроїв;

$f_5(t)$ - функція кількості втрачених пакетів інформації /даних;

$f_6(t)$ - функція кількості помилок при передачі інформації. Для вибору засобу інтелектуалізації СУ ККМ запропоновані критерії оцінки адекватності вибраного засобу поставленому завданню: прогнозування; самонавчання;ухвалення рішень на підставі нечітких даних; здатність пояснити хід своїх міркувань в зрозумілій формі; прозорість засобу, що використовується.

Порівняльна оцінка методів інтелектуалізації управління ККМ представлена в табл. 1. Ефективним методом інтелектуалізації СУ ККМ є метод експертизи (табл. 1).

Проведений порівняльний аналіз найбільш відомих вітчизняних та зарубіжних засобів розробки ЕС (табл. 2). Аналіз підготовлений на основі інтернет-джерел, літератури і демо–версій відповідних програм [5, 7–9]. Можливість модифікації роботи ЕС оцінювалася, як здатність системи управляти і змінювати поведінку основних компонентів ЕС, таких як база фактів (робоча пам'ять), база знань і механізм логічного виводу.

Таблиця 1 - Порівняльна оцінка методів інтелектуалізації СУ ККМ.

№ п/п	Можливості ІСУ ККМ розробленій за допомогою вказаного засобу інтелектуалізації	Методи інтелектуалізації		
		Метод експертизи	Імовірнісні методи теорії масового обслуговування (Марківські ланцюги)	Методи причинно-наслідкового аналізу (Мережі Петрі)
1	Прогнозування	+/-	+/-	-
2	Самонавчання	-	+/-	+/-
3	Ухвалення рішення на підставі нечітких даних.	+		
4	Здатність пояснити хід своїх міркувань в зрозумілій формі	+	+/-	+
5	Прозорість засобу	+	+	+/-
6	Ефективність %	70	50	30

Таблиця 2 - Порівняльний аналіз сучасних засобів розробки ЕС.

№ п/п	Можливості модифікації компонентів експертної системи	Засоби розробки ЕС							
		EMYCIN	MICROEXPERT	JESS	GURU	G2	CLIPS	HEARSAY-III	ЕС, що розробляється
1	Зміна значень	+	+	+	+	+	+	+	+
2	Зміна джерел даних			+	+	+	+	+	+
3	Зміна структури робочій пам'яті						+	+	+
4	Зміна знань	+	+	+	+	+	+	+	+
5	Зміна джерел знань					+	+		+
6	Зміна структури бази знань								+
7	Зміна поведінки за допомогою метаправил					+	+		+
8	Зміна поведінки за допомогою стратегій вирішення конфліктів			+		+	+		+
9	Модифікація реалізації МІВ							+	+

Порівняльний аналіз показав, що жодна з відомих систем не володіє достатнім набором властивостей для забезпечення зміни поведінки системи в процесі роботи залежно від зміни зовнішніх параметрів наочної області. Існуючу реалізацію описаних вище систем не можна назвати адекватною, а деякі рішення є вельми спірними. Наприклад, після зміни структури робочій пам'яті модифікації логічного виводи (HEARSAY-III) і зміни джерел знань (G2, CLIPS) система вимагає перезапуску. Окрім відмічених недоліків, необхідно відзначити, що в більшості розглянутих систем не передбачена можливість зміни: модуля придбання знань, пояснювального модуля і діалогового модуля. Це значно обмежує можливості ЕС.

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що еволюційний підхід, що розробляється, до побудови ЕС робить можливим створення гнучкіших і ефективних ЕС з принципово новою можливістю модифікувати свою поведінку в процесі роботи.

Висновки

1. Проведена розробка узагальненої процедури адміністрування ККМ з використанням методу базування. Проведений порівняльний аналіз методів інтелектуалізації СУ ККМ, за наслідками якого встановлено, що найбільш адекватним поставленим завданням засобом інтелектуалізації СУ є введення експертних оцінок.

2. Приведені результати порівняльного аналізу відомих вітчизняних і зарубіжних засобів створення ЕС. Показано, що жодне з пропонованих засобів не володіє достатнім набором можливостей для зміни поведінки системи в процесі роботи залежно від зміни зовнішніх параметрів наочної області. Еволюційний підхід, що розробляється, до побудови ЕС дозволяє створення гнучкіших і ефективних ЕС з принципово новою можливістю модифікувати свою поведінку в процесі роботи.

3. Проведений аналіз моделей і методів ухвалення рішень ЕС. Методи вирішення завдань, які вдають із себе пошук в просторі станів, залежать від специфіки наочної області і від тих вимог, які користувач пред'являє до рішення. Розглянуті методи, які можуть застосовуватися як в статичних, так і в динамічних середовищах. Запропоновано використовувати багатомодельні методи пошуку.

4. Показано що, модель представлення знань в ЕС визначається архітектурою ЕС, що розробляється. За наслідками аналізу різних підходів до організації знань, зроблений вивід, що необхідно використовувати різноманітні моделі знань, оскільки описати все однією універсальною моделлю не представляється можливим. Показано, що доцільно використовувати гібридну архітектуру ЕС.

Список літератури

1. Кулыгин М.В. Технологии корпоративных сетей / М.В. Кулыгин. – М.: СПб: "Питер", 2000. – С. 523-527.

2. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – С. 473–478.

3. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – С. 320–323.

4. *Жожикашвилли В.А.* Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ / В.А. Жожикашвилли, В.М. Вишневский. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 57–59.

5. *Орел Е.Н.* Основы теории интеллектуальных систем / Е.Н. Орел. – М.: МГИЭМ, 1999. – С. 45–47.

6. *Фейбел В.* Энциклопедия современных сетевых технологий / В. Фейбел. –К.: Комиздат, 1998. – С. 435–437.

7. *Белов Д.Л.* Теоретическое обоснование и разработка регенеративной экспертной системы: дис. канд. техн. наук / Д.Л. Белов –Таганрог: Изд-во Таганрогского технического универсистета, 2003. – 172 с.

8. *Гречин И.В.* Разработка экспертной системы на основе эволюционных методов: дис. канд. техн. наук / И.В. Гречин. – Таганрог: Изд-во Таганрогского технического университета, 2003. – 199 с.

9. *Крисевич В.С.* Экспертные системы для персональных компьютеров: методы, средства, реализации: Справочное пособие/ В.С. Крисевич, Л.А. Кузьмич и др. – М.: Мн. Высш. шк., 1990. – 43с.

УДК 004.78:025.4.036

Є.Б. Артамонов
(Національний авіаційний університет, Україна)
А.В. Кузнецов
(Національна бібліотека України ім. Вернадського, Україна)

ПРИНЦИПИ ВІЗУАЛЬНОГО ПОШУКУ В ЦИФРОВИХ БІБЛІОТЕКАХ

В статті піднімається розкриваються основні аспекти методу візуально-мовного пошуку, який є актуальною задачею не тільки для цифрових бібліотек, а також і для роботи з великою кількістю будь-яких нетекстових об'єктів. Даний підхід засновано на вже розробленій концепції уніфікованих метаданих і може бути реалізований шляхом модифікації стандартних алгоритмів пошуку.

На сьогодні процес створення різними інституціями електронних колекцій, які мають на меті поширення відомостей про національні, культурні та історичні пам'ятки, набув грандіозних масштабів. Створюються спільні міжнародні некомерційні проекти, інформація на яких представляється у багатомовному форматі. Таким проектом, який намагається увібрати у себе інформацію присвячену всьому світу став проект Світова Цифрова Бібліотека (СЦБ). До створення долучились вже 107 партнерських інституцій більше ніж з 60-ти країн світу.

Базовий інтерфейс СЦБ англомовний. Але навігаційний інтерфейс локалізований арабською, китайською, англійською, французькою, португальською, російською та іспанською мовами. Об'єкти бібліотеки представлені мовами оригіналів.

Основними об'єктами СЦБ є:

1) цифрове зображення (рукописів, мап, рідкісних книг та журналів, музичних партитур);
2) аудіо записи;
3) фільми;
4) знімки;
5) архітектурні креслення;
6) тексти книг та статей.

Пошукове звернення до колекцій Світової Цифрової Бібліотеки може проходити за декількома критеріями: Місце, Час, Тема, Тип об'єкту, Установа. При цьому, обираючи головним критерієм пошуку якісь один з наданих, інші можна використовувати як допоміжні. Але до сих пір відсутні стандартні алгоритми для пошуку інформації в графічних зображеннях, аудіо- та відеофайлах. В той час коли цінність об'єктів СЦБ визначається не лише їх змістом, а також зовнішнім виглядом, звучанням або особливістю представлення.

На основі даних описань можна зробити такі висновки щодо недоліків реалізації систем пошуку в СЦБ:

1) відсутність контентного пошуку;
2) відсутність візуалізації пошуку.

Для усунення наведених недоліків можна використовувати системи візуального пошуку, які на сьогодні тільки починають впроваджуватись, але набувають все більшої популярності.

Приклади реалізації візуального пошуку

Термін "візуальний пошук" має два основних визначення [1]:

1) пошук за зображеннями (visual image search);
2) візуалізатор пошуку (visual search engines)

Зупинимось більш на першому визначенні, але і наявність можливості графічного інтерфейсу пошуку також є однією з бажаних вимог до Цифрових бібліотек.

Оглянемо реалізацію основних технологій пошуку за зображеннями:

1) Image Swirl (image-swirl.googlelabs.com);
2) Яндекс (visual.images.yandex.ru/sights/);
3) Imagium (www.photodate.ru);
4) TinEye (www.tineye.com).

Принцип реалізації даних пошукових алгоритмів заснований на використанні технології пошуку за змістом (CBIR (Content Based Image Retrieval) [2,3]). Але самим потужним на даний момент є Image Swirl від компанії Google, а photodate та tineye мають можливість користувачу задавати зразок зображення.

На рис. 1 представлено приклад пошуку, кожне з зображень містить групу пов'язаних з ним.

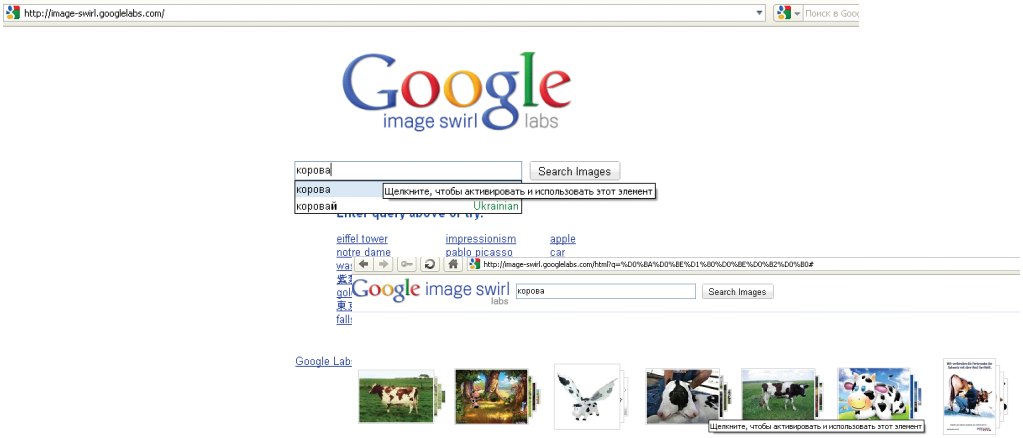
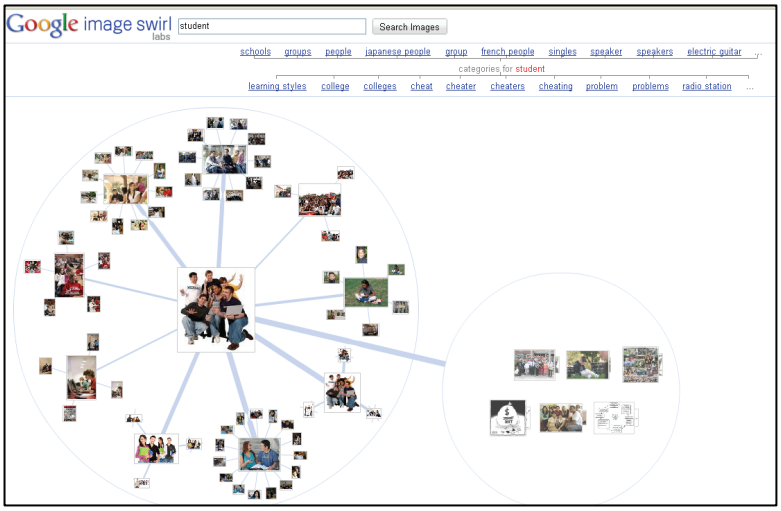
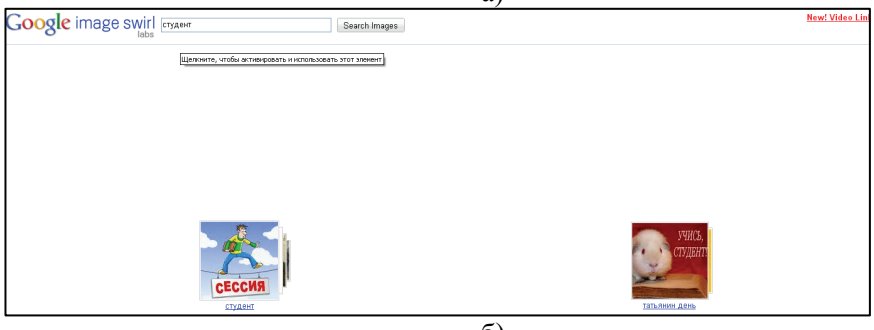


Рис. 1. Приклад обробки запиту на пошук в системі Image Swirl

Але, як бачимо з порівняння рис. 2а і 2б, даному програмному продукту притаманна обмеженість бази образів на неанглійській мові, що дає незадовільні результати пошуку для окремих термінів.



а)



б)

Рис. 2. Порівняння результатів запиту на різних мовах: а) результати пошуку за ключовим словом "student", б) результати пошуку за ключовим словом "студент"

Хоча для англійської версії для значної кількості термінів відповіді можуть містити значно більше зразків.

Система Яндекс (рис. 3) використовує покрокове наближення до об’єкту пошуку, але на наш погляд 12 кроків для отримання результату вимагають від користувача занадто багато часу.

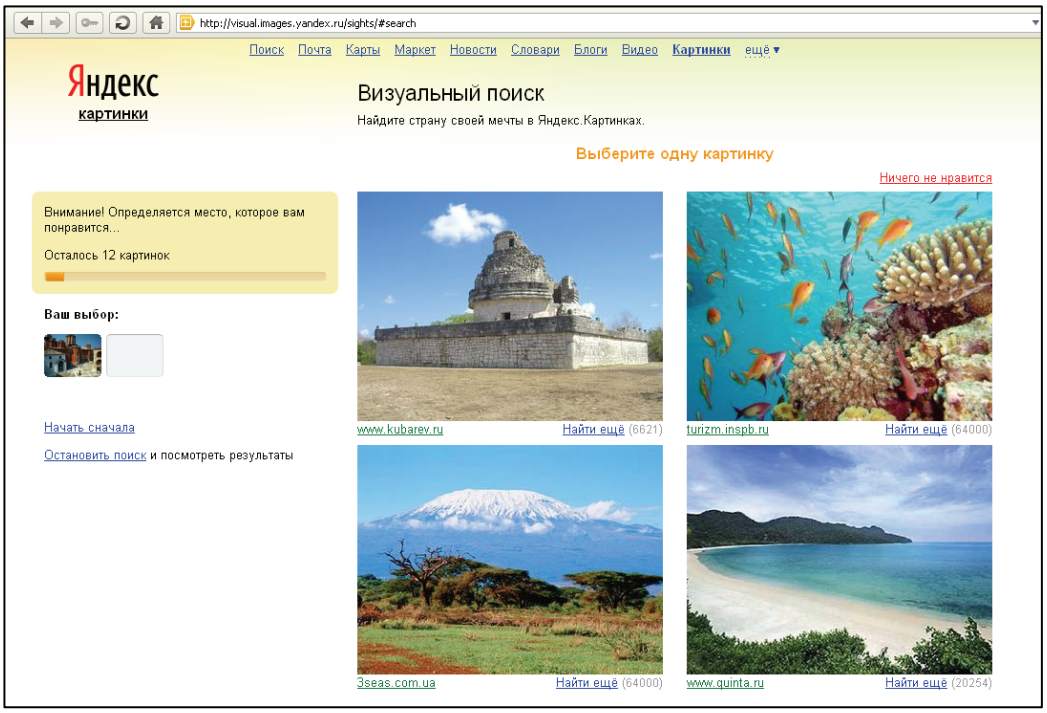
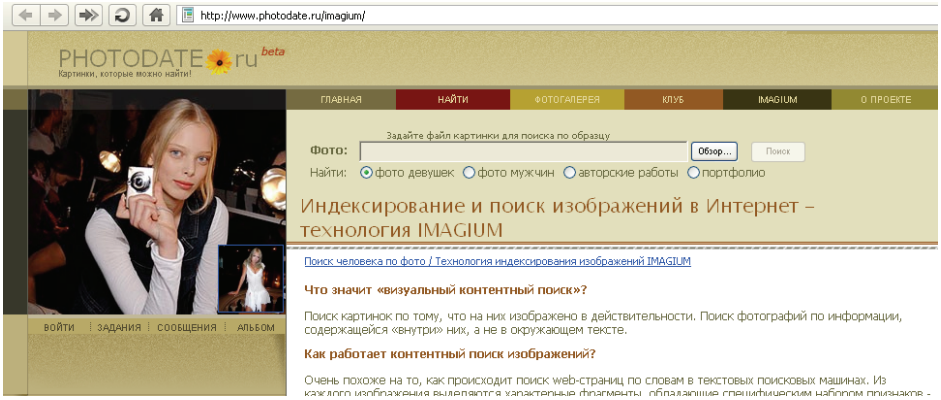
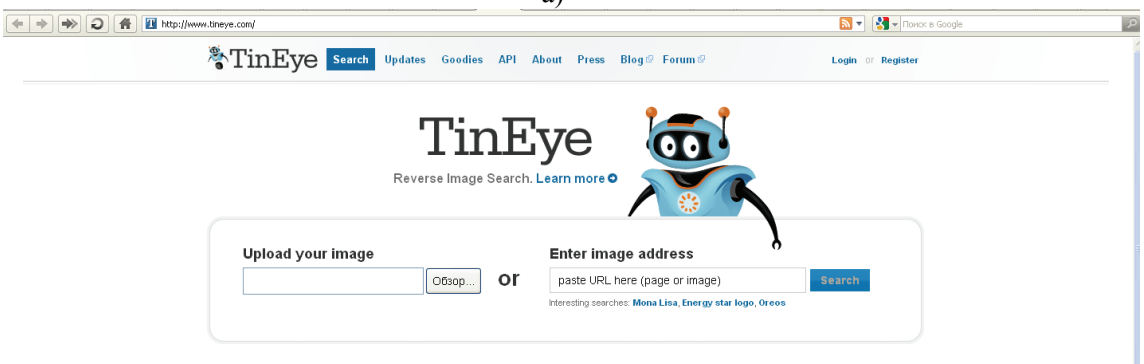


Рис. 3. Приклад покрокового пошуку зображення

Інтерфейси двох останніх проектів схожі і видно, що вони можуть отримувати данні зовні (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Інтерфейси візуальних пошукових систем з можливістю завантаження графічних образів: а) Imagium, б) TinEye

Так до основних недоліків візуальних пошукових систем можна віднести:

1) обмеженість бази образів (особливо для неанглійських мов);

2) відсутність інструментів пошуку за елементарними зразками (прості фігури або об’єкти)

3) великий час індексації у базі

Модифікований підхід до реалізації візуального пошуку

У зв’язку з наведеними відомостями щодо недоліків сучасних візуальних пошукових систем для організації візуального пошуку у цифрових бібліотеках є доречним використовувати модифікований підхід, який передбачає пошук за двохрівневим семантичним описом:

Рівень I) семантичні данні загального опису об’єкту;

Рівень II) семантичні данні, що отримані автоматично на основі бази образів (технологія CBIR - Content Based Image Retrieval (пошук зображень за змістом)).

Для організації даного підходу необхідно розробити БД наступної структури (рис. 5)

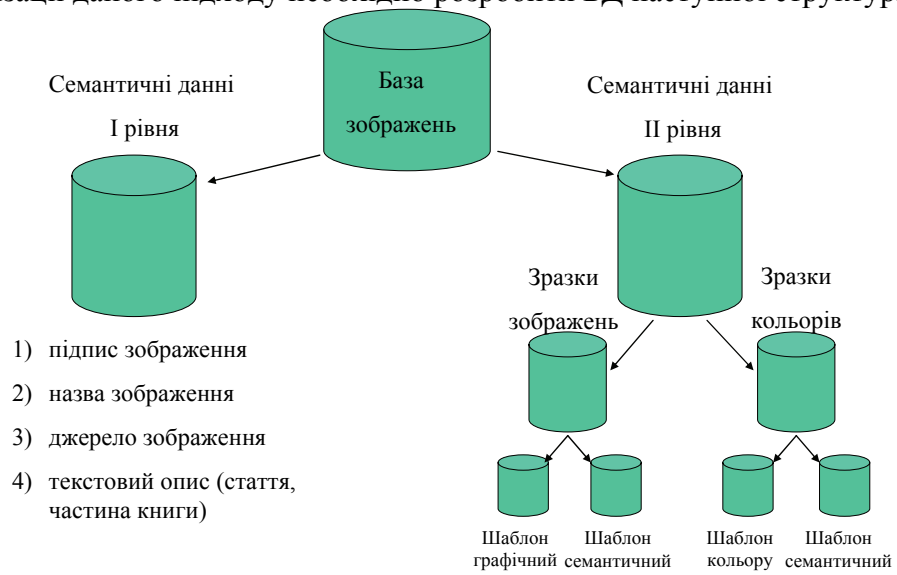


Рис. 5. Структура БД для підтримки реалізації двохрівневого семантичного опису

З наведеної структуру видно, що II рівень формується автоматично на основі контентного прив’язування зображень до шаблонів.

Висновки

На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1) стандартні інструментів пошуку в Інтернет обмежені і не надають повного спектру послуг користувачам;

2) при розробці нових підходів до організації візуального пошуку є можливість використовувати описи з вже існуючих баз даних;

3) запропонований підхід організації візуального пошуку передбачає дворівневе семантичне описання зображень.

Список літератури

1. *Frederic Lardinois* Making Search Prettier: Bing Launches Visual Search - http://www.readwriteweb.com/archives/bing_launches_visual_search.php, 2009.

2. *Content-based* Multimedia Information Retrieval: State of the Art and Challenges, Michael Lew, et al., ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications, 2006. - pp. 1-19.

3. Ritendra Datta, Dhiraj Joshi, Jia Li and James Z. Wang, ``Image Retrieval: Ideas, Influences, and Trends of the New Age," ACM Computing Surveys, vol. 40, no. 2, article 5, 2008. - pp. 1-60.

УДК 517.956 (043.2)

О.М. Глазок, кандидат технічних наук, Д.Ю. Катюха,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЙ ПІДВИЩЕНОЇ РОЗРЯДНОСТІ В ХОДІ ІТЕРАЦІЙНОГО ПОШУКУ РОЗВ'ЯЗКУ СИСТЕМИ ЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ

Розглядається ітераційний метод розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь, побудований на основі другого методу Ляпунова. Досліджено залежність часу обчислень при використанні арифметичних операцій з підвищеною точністю від застосованої розрядності розрахунків. Використано алгоритм довгої арифметики, реалізований у вигляді класу C++ для обробки довгих чисел

Існує велика кількість наукових та прикладних задач, що зводяться до чисельного розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Теорія отримання точних та наближених розв'язків систем лінійних алгебраїчних рівнянь є досить старою і дослідженою галуззю обчислювальної математики. Існує обширна література, присвячена методам прикладної лінійної алгебри, а програмні продукти, що реалізують найбільш популярні алгоритми обчислювальної лінійної алгебри, стали невід'ємною частиною прикладного програмного забезпечення, зокрема, сучасних математичних пакетів.

Сучасний бурхливий розвиток і розповсюдження обчислювальної техніки надає в розпорядження дослідника обчислювальні потужності, що дозволяють розв'язувати задачі великих розмірностей; в той же час в математичному забезпеченні спостерігається ряд проблем, що не дозволяють ефективно використати ці можливості. Серед труднощів практичного розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь великої розмірності найперше слід відзначити обмеженість оперативної пам'яті ЕОМ та значну тривалість розрахунків. Розмірність задач, а відтак і обсяг даних, що необхідно зберігати та обробити при їх розв'язанні, зростають швидше, ніж обсяг оперативної пам'яті доступних обчислювальних машин, і швидше, ніж їх швидкісні характеристики. В значній мірі обмеження на розмірність систем можна б було зняти, якщо використовувати для зберігання елементів матриці зовнішні запам'ятовуючі пристрої. Однак швидкість обміну даними з ними невисока, тому в цьому випадку суттєво зростають як витрати машинного часу, так і складність відповідних алгоритмів.

Алгоритми, реалізовані в згаданому вище програмному забезпеченні, як правило, відносяться до класу алгоритмів прямого розв'язання задачі, і орієнтовані на розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь невеликих чи середніх розмірів (до кількох сотень чи тисяч рівнянь), в той час як сучасні прикладні задачі в результаті апроксимації неперервного функційного рівняння кінцево-різницевою задачею нерідко породжують системи, у яких кількість рівнянь може складати сотні тисяч чи навіть мільони, і потреби практики в розв'язанні задач все більшої розмірності зростають.

Вказані протиріччя мотивують дослідників пропонувати нові методи розв'язання таких задач. Так, для ряду часткових випадків систем з розрідженою матрицею було створено економні прямі методи розв'язання [1, 2]. Було також розроблено ряд ітеративних методів; зокрема, суттєвим кроком вперед стали метод підпросторів Крилова та інші подібні градієнтно-орієнтовані методи, що використовують спряжені підпростори [3, 4]. Однак залишається і ряд невирішених проблем. Зокрема, більшість запропонованих методів розв'язання таких систем розроблено в припущенні, що матриця системи має стрічкову структуру, причому ширина стрічки значно менша порядку матриці. Однак це припущення виконується не для всіх задач. Крім того, запропоновані методи дозволяють збільшити порядок розв'язуваної системи лише за умови відповідного (за порядком величин)

нарощування обсягу ресурсів, що мають бути використані обчислювальною системою для її розв'язання.

Ітераційні методи застосовують головним чином для розв'язання задач великої розмірності, коли використання прямих методів неможливе через названі вище обмеження. Не вдається до таких задач застосувати і методи з виключенням, оскільки при їх використанні велике число нульових елементів перетворюється на ненульові і матриця втрачає властивість розрідженості. Важливою перевагою ітераційних методів є те, що в ході ітераційного процесу матриця не міняється, і вона, природно, залишається розрідженою. Велика ефективність ітераційних методів в порівнянні з прямими методами тісно пов'язана з можливістю істотного використання розрідженості матриць. Можна зробити висновок, що актуальним є пошук нових ітераційних методів розв'язання названих задач, орієнтованих на роботу з системами рівнянь великої розмірності. Перспективним напрямком такого пошуку виглядає застосування методу функцій Ляпунова. Теорія першого та другого методів Ляпунова продовжує активно розвиватися, зокрема в застосуваннях до розв'язання задач, в яких описується чи визначається поведінка систем з розподіленими параметрами.

В системах з великою кількістю елементів зв'язки між елементами найчастіше є локальними, і, відповідно, матриці систем лінійних алгебраїчних рівнянь, що описують такі системи, найчастіше є розрідженими. Тому є можливість за рахунок раціональної організації обчислювального процесу добитися значного зменшення потреб у оперативній пам'яті для зберігання даних, оскільки немає потреби зберігати в пам'яті нульові елементи (яких у розрідженій матриці переважна більшість), а також зменшення тривалості обчислень – завдяки тому, що немає потреби виконувати над нульовими елементами арифметичні дії, результат яких заздалегідь відомий.

Оцінимо виграш, отриманий від відкидання нульових елементів для m-діагональної матриці розмірності N (так, наприклад, для класичної різницевої схеми, що наближує диференційне рівняння другого порядку щодо функції однієї координати, m=3, а N відповідає кількості вузлів сітки.) У головній діагоналі матриці (що містить ненульові елементи) міститься N елементів, а інші (m–1) діагоналей з ненульовими елементами містять на один чи декілька елементів менше. Оцінимо кількість елементів в цих діагоналях зверху також величиною N . Таким чином, всього у матриці є менше ніж $m \times N$ елементів, що не є завідомо нульовими. А відносний вміст ненульових елементів менший, ніж $\frac{mN}{N^2} = \frac{m}{N}$. Решта елементів – більше ніж $N(N–m)$ елементів – нульові, а відносний вміст нульових елементів більший, ніж $\frac{N-m}{N^2}$. Величина m відповідає кількості зв'язків одного елемента і в більшості задач, де зв'язки між елементами локальні, є невеликим числом. Розмірність задачі N може сягати сотень тисяч і мільонів, отже, видно, що раціоналізація обчислень приносить значну економію. До цього слід додати, що, якщо в задачі задано крайові значення, то і в «ненульових» діагоналях частина елементів можуть виявитись нульовими, оскільки крайові значення враховуються у постійному векторі правих частин.

При спробах використання непрямокутних сіток та сіток, геометрія яких не відповідає формі об'єктів, було відзначено такі проблеми [5]:

1. У випадку невідповідності між сіткою та границею кроки-«сходинки» на моделі границі приводять до зростання помилок в рішеннях, особливо коли сітка має великий крок. Для криволінійних границь уникнути такої невідповідності практично неможливо через фундаментальне протиріччя між неперервністю кривих, що утворюють границю, та дискретністю сітки.

2. Складність реалізації алгоритмів розрахунку. Кількість вузлів (точок) сітки у одному рядку не постійна, і це вимагає або застосування непрямої адресації, або введення додаткового масиву, який обмежує діапазон індексів в кожному рядку. При цьому код програми, імовірно, доведеться змінювати для кожної нової задачі.

3. Урахування граничних умов вимагає особливої уваги.

Наступним кроком до зменшення апаратних вимог є застосування ітераційних методів розв'язання замість прямих. Розглянемо задачу пошуку розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь, записаної у векторно-матричній формі як

$$AX=B \quad , \tag{1}$$

де A – задана постійна матриця, B – заданий постійний вектор правих частин рівнянь, X – вектор розв'язків, який необхідно знайти.

Щоб застосувати другий метод Ляпунова, визначимо скалярну допоміжну функцію

$$V(X) = (AX–B)^T Q(AX–B) \quad , \tag{2}$$

де Q – симетрична вагова матриця. Розглянемо вектор X як вектор-функцію часу $X(t)$, і організуємо ітераційний процес так, щоб значення сходилися до точного розв'язку системи (1). Нехай закон загасания допоміжної функції (2) в часі задано рівнянням

$$\dot{V} + cV = 0 \quad , \tag{3}$$

де c – деяка постійна величина, значення якої можемо обрати довільно, таким чином визначаючи швидкість спадання норми нев'язки. Нехай також задано закон руху X :

$$\dot{X} = -k\frac{\partial V}{\partial X} \quad , \tag{4}$$

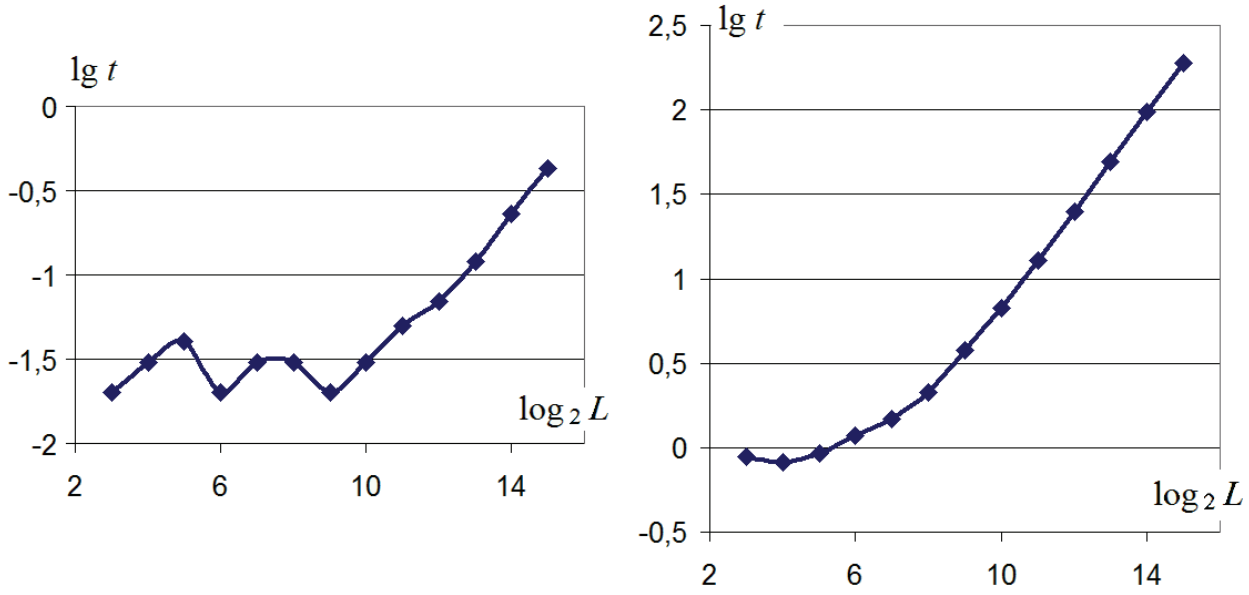
де k – деяка постійна (не довільна) величина.

Використовуючи визначення (2), (3) та визначаючи коефіцієнт k за умовами задачі, отримаємо на основі (4) необхідне диференційне рівняння, у якому похідна $\frac{\partial V}{\partial X}$ задана в силу системи (1), а права частина не містить невідомих величин.

При розв'язанні прикладної задачі за таким методом є практично важливою проблема знаходження компромісу між розмірністю системи, діапазоном представлення величин і точністю обчислень. Вдалий1 або невдалий вибір такого компромісу відбивається на достовірності отриманих рішень. Недостатня точність обчислень призводить до накопичення помилок при виконанні обчислювальних операцій. На даний час загальноприйнятим стандартом для представлення чисел у форматі з плаваючою крапкою і виконання операцій над ними є стандарт IEEE 754 [6]. Однак в літературі неодноразово піднімалося питання про те, що використання сучасних підходів до представлення дійсних чисел приводить до нераціональних витрат обчислювальних ресурсів; недостатньої достовірності результатів складних математичних розрахунків, особливо з накопиченням помилки; поганої відповідності моделі представлення дійсних чисел реальним потребам різних галузей знань.

Зрозуміло, що не вдасться досягти адекватності математичної моделі в тому випадку, якщо не вдається контролювати погрішності обчислень. У зв'язку з цим є актуальним пошук шляхів для визначення ефективних форматів машинного представлення значень, що виникають при розв'язку задачі, та ефективних способів виконання операцій над ними.

У виконаному дослідженні було проведено вимірювання часу виконання арифметичних операцій в процесі розв'язання системи (1) з використанням алгоритму довгої арифметики, що був реалізований у вигляді класу C++ для обробки довгих чисел. Приклади результатів вимірювання подано на рис. 1. На осях абсцис графіків відкладено логарифм довжини чисел, що оброблялися. Як можна побачити, в обох випадках при нарощуванні розрядності залежність часу обчислень від розрядності наближається до лінійної, в той час як на початковому етапі вимірювань (при невеликих розрядностях) на тривалість розрахунків справляють переважний вплив побічні, псевдовипадкові фактори, оскільки доля власне арифметичних операцій при цьому невисока.



а *б*

Рис. 1. Результати чисельного експерименту: *а* – з використанням бібліотечних функцій; *б* – з використанням методів класу Longa.

Висновки

На основі другого методу Ляпунова було запропоновано метод отримання розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь (1) як границі, до якої сходиться послідовність наближених розв'язків диференційного рівняння щодо вектор-функції X, яке не містить інших невідомих величин. Це рівняння можливо розв'язати шляхом чисельного інтегрування на ЕОМ за одним з відомих методів, обравши деяке початкове наближення вектора X. При цьому швидкість руху до розв'язку та точність отриманих результатів визначається розрядністю обчислень. Виконано вимірювання часу операцій над багаторозрядними числами, які є частиною ітераційного процесу розв'язку системи рівнянь.

Важливим напрямком подальших досліджень є пошук ефективних для даного обчислювального алгоритму способів машинної обробки дійсних чисел, а також встановлення залежності між розрядністю обробки проміжних даних (і відповідно витратою часу) і швидкістю сходимості процесу пошуку розв'язку, і з'ясування умов, на основі яких можна обрати задовільний компроміс між точністю та швидкістю.

Список літератури

1. *Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А.* Матрицы и вычисления. – М.:Наука, 1984. – 320 с.

2. *Джордж А., Лю Дж.* Численное решение больших разреженных систем уравнений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 333 с.

3. *Петров И.Б., Лобанов А.И.* Лекции по вычислительной математике. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 523 с.

4. *Ерёмин М.А.* Определитель Ерёмина в линейной и нелинейной алгебре. Линейное и нелинейное программирование. – М: КомКнига, 2006. – 120 стр.

5. *Ferziger J.H., Peric M.* Computational Methods for Fluid Dynamics. – Springer, 2002. – 423 p.

6. IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic (Revision of IEEE Std 754-1985) // IEEE Computer Society. – 2008. – 70 p.

УДК 519.872

О.М. Дишлюк
(Національний авіаційний університет, Україна)

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ З МНОЖИННИМИ ЗАЯВКАМИ

Розглянуто приклади інформаційних систем множинного доступу з урахуванням множинності заявки. Проаналізовано системи масового обслуговування з потоком множинних заявок. Описано методи дослідження для визначення оцінок ймовірності перекриття множинних заявок.

При дослідженні функціонування новітніх інформаційних систем спостерігається складність процесу аналізу та обробки інформації, яка надходить для обслуговування. А отже, виникає проблема в розробці достатньо адекватних математичних моделей таких систем з метою отримання достовірних оцінок їх характеристик, реалізації задач їх оптимізації відносно обраного критерію якості та розробки відповідних алгоритмів управління. До таких систем, зокрема, відносяться комп'ютерні системи та мережі, системи мобільного та супутникового зв'язку, та ін.

Функціонування сучасних систем супутникового зв'язку, зокрема, GPS-систем (Global Positioning System – глобальна система позиціонування) полягає в визначенні місцезнаходження шляхом вимірювання відстаней до об'єкта від точок із відомими координатами (супутників). Відстань обчислюється за часом затримки розповсюдження сигналу від посилання його супутником до прийому антеною GPS-приймача. Тобто для визначення трьохвимірних координат GPS-приймачу потрібно знати відстань від трьох супутників та час GPS-системи. Таким чином, для визначення координат та висоти приймача, використовуються сигнали як мінімум з чотирьох супутників [1].

Супутникові системи зв'язку є найбільш складними телекомунікаційними системами з точки зору розробки їх адекватних математичних моделей. Це, перш за все, пояснюється тим, що вхідний потік заявок розглядається як потік заявок складної структури (множинних заявок). Таким чином, розглядаючи канал прийому сигналу GPS-системи як канал системи масового обслуговування, а посилання від супутників як множинну заявку до каналу, що складається с декількох сигналів, можемо отримати деякі показання функціонування GPS-системи.

Множинність заявок також спостерігається в процесі функціонування безпроводових систем відеоспостереження. Комплекс апаратури відеонагляду складається з множини постів відеоспостереження, кожен з яких отримує відеоінформацію з декількох точок відеоспостереження, кількість яких відповідає кількості об'єктів спостереження. На кожному з постів здійснюється збирання та обробка відеоінформації, яка надходить від окремих точок спостереження (відеокамер). Таким чином, до кожного поста надходить потік множинних заявок, кожен з яких потребує окремого обслуговування.

Відзначимо, що множинність заявок в каналах безпроводового зв'язку може бути пов'язана з допоміжними операціями, що необхідні для встановлення зв'язку (налагодження частоти, синхронізація, перевірка адресних кодів, тестові фрейми та т.ін.). При достатньо високому рівні перешкод в системах безпроводового зв'язку, дані зазвичай мають затримку, пов'язану з підтвердженням прийому. Із збільшенням об'єму даних підвищується ймовірність появи помилки при їх передачі, тобто можлива повторна передача даних. В цілях виключення впливу можливих тривалих перешкод передача даних здійснюється з перервою [2]. Отже, знову виникає завдання про множинну заявку.

Наведені приклади показують практичну актуальність систем масового обслуговування з множинними заявками. Накладання сигналів, що відбуваються в процесі функціонування різних інформаційних систем, зумовлюють до розв'язання задач, які визначають інтенсивність

потоків складних заявок, яка б не приводила до інформаційних втрат, та задач про виявлення місцезнаходження об'єктів без втрати інформації про їх розташування.

В системах обслуговування з множинними заявками будь-який зсув в часі може погіршити якість обслуговування, або взагалі, виключити можливість його виконання. Для ефективності розрахунку подібних систем можна використовувати метод статистичного моделювання, але процес моделювання у цьому випадку буде занадто складним. Тому для спрощення моделюючого алгоритму таку систему доцільно замінити еквівалентною системою с простими заявками при умові виконання розділу заявок за часом. Таким чином, скориставшись формулами теорії систем масового обслуговування, за їх образом виведемо нові та дослідимо доцільність еквівалентної заміни системи з складними заявками на систему з простими заявками.

Таким чином, для описаних вище систем велике значення має оцінка пропускної спроможності. В найпростішій постановці задача про пропускну спроможність системи формулюється як деяка задача масового обслуговування. Потік об'єктів, що обслуговуються, схематизується як потік однорідних подій. Визначаються такі поняття: канал обслуговування, час обслуговування як випадкова величина, критерій якості обслуговування; а також знаходиться зв'язок між параметрами системи і значеннями критерію в залежності від інтенсивності потоку. Проте, процес моделювання системи з множинними заявками набагато складніший, ніж у випадку простих (одиночних) заявок. Звідси виникає питання про можливість еквівалентної, в сенсі того чи іншого критерію, заміни системи з множинними заявками системою з одиночними заявками. Виявляється, що така заміна можлива [3]. Для розв'язання цього питання введено поняття систем обслуговування з τ-обмеженою післядією та виведені достатні умови такої заміни.

У випадку, коли еквівалентна заміна неможлива, постає задача розробки зручного математичного ймовірнісного апарату для опису та аналізу системи з множинними заявками, а також пошук можливого спрощення формул і статистичних моделей. Зокрема, знайдені досить точні оцінки ймовірності перетину множинних заявок. Їх виведення засновано на методі «протягання» одних множинних заявок вздовж інших і усередненні за незалежними реалізаціями [4].

Висновки

Запропонований один із методів дослідження характеристик систем з множинними заявками для визначення оцінки ймовірності перетину заявок не відноситься до очевидних, оскільки він оснований не на розрахунку можливого перетину випадкових множин, що практично малоймовірно, а на розробленому алгоритмі «протяжки» однієї множини імпульсів через іншу. Це набагато спрощує оцінювання показників функціонування систем з множинним доступом і множинною заявкою.

Іншим спрощуючим методом дослідження таких СМО є заміна потоку СМО з множинними заявками потоком з одиночними заявками. Було знайдено достатні умови такої заміни, в процесі доведення введено поняття системи з τ- обмеженою післядією і η-еквівалентних потоків.

Література

1. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер. – 2006. – 958 с.

2. *Столлингс В.* Беспроводные линии связи и сети. – СПб.: Питер, 2003. – 640 с.

3. *Коба Е.В., Дышлюк О.Н.* Системы обслуживания с ограниченным последействием и потоками заявок сложной структуры // Проблемы управления и информатики. — 2010. — №4. — С. 113-118.

4. *Коба Е.В., Дышлюк О.Н.* Оценка вероятности пересечения заявок сложной структуры в системах обслуживания // Кибернетика и системный анализ. —2010. —№3. — С. 175-180.

УДК 004.415.2.043

А.О. Краснопольський, кандидат технічних наук,
О.С. Зиков, К.А. Богданова
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПРОЦЕСНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ. МІСІЯ КАФЕДРИ

Кафедра розглядається як цільова, відкрита система, яка належить ієрархічній сукупності надсистем. Побудова бізнес-моделі кафедри починається з опису та визначення місії кафедри.

Місія, згідно з ISO-15704 «Вимоги до стандартних архітектур та методологій підприємства» - це:

- діяльність, що здійснюється підприємством для того, щоб виконати функцію, для якої воно було створено, - надання замовникам продукту чи послуги;
- механізм, за допомогою якого підприємство реалізує свої цілі і задачі.

Визначення місії та цілей кафедри дають змогу сформувати бізнес-потенціал кафедри - набір видів діяльності, направлений на задоволення потреб споживачів. Далі, виходячи з потреб споживачів послуг, формується первинне уявлення про організаційну структуру (визначаються центри відповідальності). Виникає розуміння основних ресурсів, необхідних для задоволення потреб.

Бізнес-потенціал, в свою чергу, визначає функціонал кафедри - перелік бізнес-функцій, функцій менеджменту і функцій забезпечення, необхідних для підтримки на регулярній основі вказаних видів діяльності. Крім того, уточняються необхідні для цього ресурси (матеріальні, людські, інформаційні) і структура кафедри.

Матриця функціональної відповідальності закріплює відповідальність структурних одиниць (і окремих спеціалістів) за виконання бізнес-функцій при реалізації процесів діяльності, а також функцій менеджменту, пов'язаних з управлінням цими процесами (планування, контроль, управління персоналом та ін.). Подальша деталізація матриці (до рівня відповідальності окремих працівників) дозволить отримати функціональні обов'язки персоналу, що в сукупності з описом прав, обов'язків забезпечить розробку пакету посадових інструкцій.

Опис бізнес-потенціалу, функціоналу і відповідних матриць відповідальності представляє собою статичний опис кафедри. При цьому процеси, що відбуваються на кафедрі поки в звернутому виді (як функції), ідентифікуються, класифікуються і, що особливо важливо, закріплюються за виконавцями. Це вносить прозорість в діяльність кафедри за рахунок чіткого розмежування зон відповідальності.

Подальший розвиток (деталізація) бізнес-моделі відбувається на етапі динамічного опису кафедри на рівні процесних потокових моделей. Процесні потокові моделі - це моделі, які описують процес послідовного в часі перетворення матеріальних та інформаційних потоків компанії в ході реалізації бізнес-функції чи функції менеджменту. Тут описується логіка взаємодії учасників процесу.

Закінчується організаційне бізнес-моделювання розробкою моделі структур даних, яка визначає перелік і формати документів, супроводжуючих процеси на кафедрі. При цьому створюється система довідників, на основі яких отримують пакети необхідних документів та звітів.

Такий підхід дозволяє описати діяльність кафедри за допомогою цілей, стратегій, продуктів, функцій, організаційних ланок та ін. Об'єднуючи ці класифікатори в функціональні групи і закріплюючи між собою елементи різних класифікаторів за допомогою матричних проекцій, можна отримати повну бізнес-модель кафедри.

При цьому відбувається процесно-цільовий опис кафедри, який дозволяє отримати взаємозв'язані відповіді на наступні питання: навіщо-що-де-хто-як-коли-кому-скільки.

Таким чином, організаційний аналіз передбачає побудову комплексу взаємозв’язаних інформаційних моделей кафедри, який включає:

- стратегічну модель (відповідає на питання: навіщо кафедра займається саме цією діяльністю, які цілі і стратегії для цього необхідно реалізувати);
- організаційно-функціональну модель (відповідає на питання: хто-що робить на кафедрі і хто за що відповідає);
- функціонально-технологічну модель (відповідає на питання: що-як реалізується на кафедрі);
- процесно-рольову модель (відповідає на питання: хто-що-як-кому);
- модель структури даних (відповідає на питання: в якому вигляді описуються регламенти кафедри).

Представлена сукупність моделей забезпечує необхідну повноту і точність опису кафедри і в подальшому дозволить відобразити зрозумілі вимоги до інформаційної системи ВНЗ.

Місія в широкому розумінні представляє собою основну ділову концепцію організації, вона випливає з загальної місії ВНЗ і викладена в вигляді положень, які визначають відносини кафедри з іншими суб'єктами:

- що отримає споживач для задоволення своїх потреб;
- що отримає держава та суспільство від діяльності;
- що отримає власник (завідувач) кафедри;
- що отримає від діяльності кафедри керівництво ВНЗ;
- що отримає від кафедри персонал (професорсько-викладацький, допоміжний).

Визначимо категорії споживачів, зацікавлених сторін та їх вимоги:

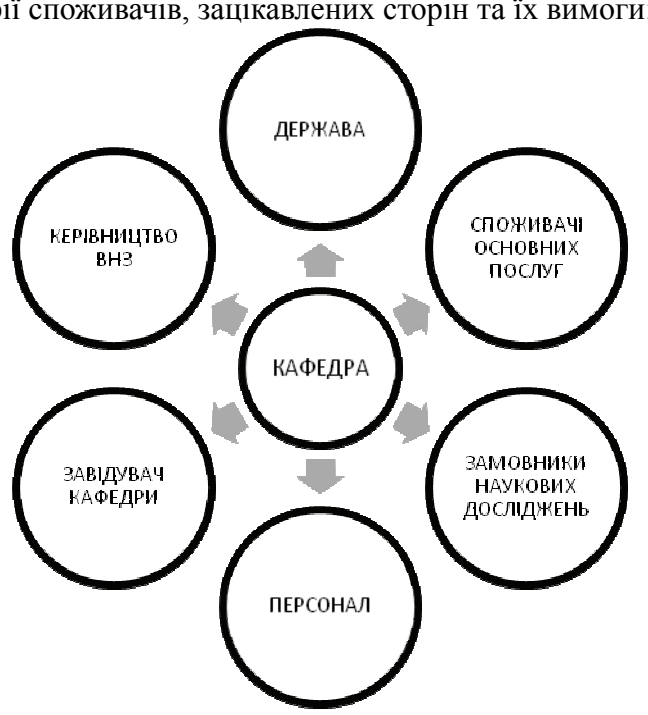


Рис.1 Схема взаємозв’язків кафедри

Отже, сформулюємо місію кафедри відповідно до висунутих перед нею вимог:

«Організація та здійснення навчальної, методичної, виховної та наукової роботи, підготовка науково-педагогічних працівників, забезпечення високого іміджу вищого навчального закладу».

Таблиця 1. Вимоги до кафедри

Споживачі та зацікавлені сторони	**Вимоги (потреби і очікування)**
Держава	Зміцнення освітньо-професійного потенціалу держави; підготовка кваліфікованих фахівців за державним замовленням; відповідність акредитаційним показникам; дотримання стандартів Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України
Здобувачі вищої освіти, аспіранти, докторанти, а також батьки студентів	Сучасний та якісний рівень підготовки
Замовники наукових досліджень	Результативна науково-дослідна робота, ефективність інвестицій в науку
Керівництво ВНЗ	Організація та здійснення на високому рівні навчальної, методичної, виховної та наукової роботи, яка забезпечує високий імідж ВНЗ, підготовка науково-педагогічних працівників та підвищення їх кваліфікації; виконання вимог освітніх стандартів та акредитаційних показників
Завідувач кафедри	Підготовка кваліфікованих кадрів для кафедри; дотримання дисципліни, виконання обов'язків та організована, злагоджена робота працівників
Персонал	Висока зарплата, комфортне робоче середовище, можливість творчого та кар'єрного росту, підвищення кваліфікації

Список літератури

1. *Беккер Й.* Менеджмент процессов. – М.: Эксмо, 2007. – 384 с.

2. *Грекул В.И., Денищенко Г.Н., Коровкина Н.Л.* Проектирование информационных систем: курс лекций; учеб.пособие. – М.: Интернет-Ун-т Информ. Технологий, 2005. – 304 с.

3. *Данилов И.П., Сюров Р.В.* Процессный подход в высшем образовании. – Качество. Инновации. Образование. – 2002.

4. Довідник з підготовки фахівців / Уклад.: В.Бабак, М.Кулик, А.Полухін. – К.: НАУ, 2006. – 380 с.

5. *Кондратьев В.В., Кузнецов М.Н.* Показываем бизнес-процессы. - Эксмо, 2008.

УДК 004.052.3

В.В. Клобуков, А.О. Краснопольський, кандидат технічних наук, О.С. Зиков
(Національний авіаційний університет, Україна)

УПРАВЛІННЯ ПРОДУКТИВНІСТЮ КОРПОРАТИВНИХ КОНВЕРГЕНТНИХ МЕРЕЖ

Розглянута архітектура інтелектуальної платформи мережевого адміністрування, що вміщує центральний аналітичний адаптивний інформаційно-розрахунковий блок і вимірюючих агентів

В сучасному суспільстві корпоративні конвергентні мережі (ККМ) грають велику роль в діяльності підприємств, організацій будь-якої галузі. Сучасні ККМ надають свої інформаційно-обчислювальні ресурси великій кількості користувачів. Вимоги користувачів до швидкості виконання завдань визначаються їх роллю в технологічному процесі корпорації. Тому кожен користувач пред'являє свої вимоги до продуктивності ККМ.

Однією з найважливіших проблем сучасного суспільства є створення високопродуктивного телекомунікаційного середовища. Мережеві технології постійно удосконалюються, що приводить до зростання кількості користувачів, збільшення об'єму трафіку, необхідності підвищення відповідальності за доставку кожного повідомлення. Мультимедійні технології надають користувачам широкий спектр інформаційних послуг, але пред'являють підвищені вимоги до техніко-економічних показників, які посилюються із зростанням складності корпоративних обчислювальних мереж і збільшенням кількості користувачів.

Підвищується складність структури ККМ, розширюється склад сервісних послуг і, як наслідок, зростає інтенсивність трафіку. При зростанні коефіцієнтів завантаження серверів, каналів зв'язку і комутуючих пристроїв виникають черги, що приводить до затримок доставки повідомлень. Відсутність засобів, що підтримують необхідну якість управління продуктивністю ККМ, знижує конкурентоспроможність, і не забезпечує вимоги користувачів до швидкості виконання інформаційно-обчислювальних завдань.

При неухильному зростанні числа комп'ютерних мереж і збільшенні кількості вузлів в мережі виникає проблема вибору засобів мережевого адміністрування. Завдання управління мережею само по собі не тривіальне і стає тим складніше, чим вище вимоги, чим більше мережа, чим більше в ній використовується різнорідних платформи мережевого адміністрування (ПМА). Дослідження завдань оперативного управління ресурсами і використовуваних для цього існуючих систем мережевого адміністрування показують, що існуючі ПМА не дозволяють в повному об'ємі вирішувати проблеми, пов'язані з побудовою і управлінням ККМ.

У зв'язку з відсутністю можливостей розраховувати технічні характеристики, що забезпечують необхідну якість функціонування ККМ, при інженерному проектуванні доводиться вирішувати такі задачі шляхом підбору.

Можна розділити функції управління продуктивністю ККМ на дві групи: управління елементами мережі, управління комунікаціями

Таблиця 1. Функції управління ККМ

Управління елементами мережі	
а. управління конфігурацією	• опис конфігурації елементів мережі (параметри конфігурації); • опис протоколів мережевих взаємодій (параметри протоколів маршрутизатора)

Управління комунікаціями	
а. обробка збоїв	• пошук, виявлення, локалізація і усунення несправностей і помилок; • запобігання і профілактика збоїв; • спостереження за кабельною системою; • моніторинг видалених сегментів і міжмережевих зв'язків
б. управління продуктивністю	• збір і аналіз статистичних даних про функціонування мережі, аналіз трафіку; • планування і оцінка ефективності використання ресурсів мережі; • аналіз і інтерпретація протоколів маршрутизаторів; • планування розвитку мережі, управління сегментацією; • вибір критеріїв управління для різних режимів роботи ККМ, оскільки потоки транзакцій ККМ істотно змінюються в процесі функціонування; • визначення і усунення вузьких місць.

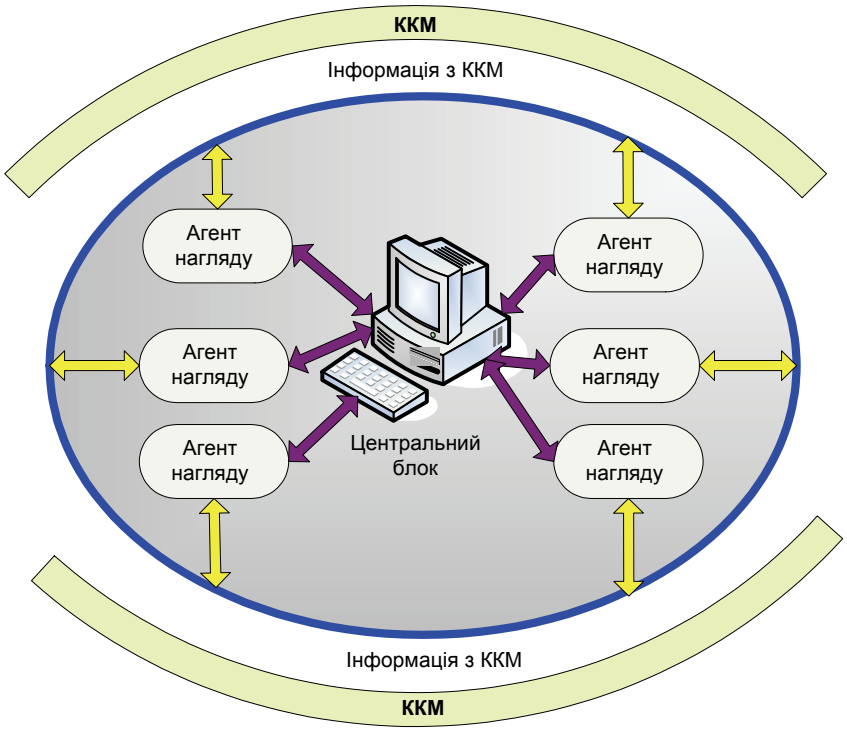
Щоб вирішити завдання управління продуктивністю, можна розділити управління ККМ на 4 класи: управління в реальному часі, оперативне управління, тактичне управління, стратегічне управління. Аналіз методів управління платформи мережевого адміністрування показав, що існуючі засоби не дозволяють в повному об'ємі вирішити проблеми управління продуктивності ККМ.

Необхідна нова розробка, що забезпечує більш детальний моніторинг і вирішення завдань підвищення якості управління, а також прогнозування зміни тимчасових характеристик в ККМ.

Існуючі платформи мережевого адміністрування реалізують схожі по своєму складу набори функцій, що надаються адміністраторові системи. Для цих платформ характерний ряд недоліків:

- платформи не дозволяють визначити потенційно “вузькі місця” в системі;
- платформи не дозволяють визначити як зміниться ситуація в мережі, якщо внести зміни до її структури (додати, видалити устаткування, змінити місце розташування вузла в мережі або його характеристики);
- платформи не дозволяють виробити автоматичну зміну напряму руху інформаційних потоків в разі виникнення несправностей в роботі мережі (вихід з вузлів мережі або каналів зв'язку, перевантаження пулу мережі або каналів зв'язку).

Наявність такого роду недоліків дозволяє зробити висновок про необхідність створення принципово нової платформи мережевого адміністрування. Потрібно мати інтелектуальну платформу мережевого адміністрування, яка в своєму складі містила б блоки моделювання. Підвищення ефективності роботи ККМ може забезпечуватися за рахунок зміни підходу до організації адміністрування мережі і впровадження нових інтелектуальних мережевих засобів адміністрування, що дозволяють не лише визначати несправності і проблеми в мережі, але і прогнозувати їх появу. Архітектура інтелектуального мережевого адміністратора повинна відрізнятися від вже існуючої архітектури. Розробка архітектури ПМА можлива лише на базі вбудованої математичної моделі. Ця модель повинна дозволяти ПМА вирішувати проблеми підвищення якості управління ККМ. При цьому, моделі ККМ повинні відповідати наступним вимогам: легко перебудовуватися при аналізі різних конфігурацій технічних засобів ККМ; враховувати параметри і специфіку використовуваних програмних продуктів при їх взаємодії; враховувати специфіку і характеристики протоколів всіх рівнів архітектури; спиратися на обробку комплексної інформації про параметри мережі, що збирається в реальному часі архівується. Для реалізації архітектури моделі необхідно, щоб частина модулів інтелектуального адміністратора проводила збір інформації, а інша частина –обробку.

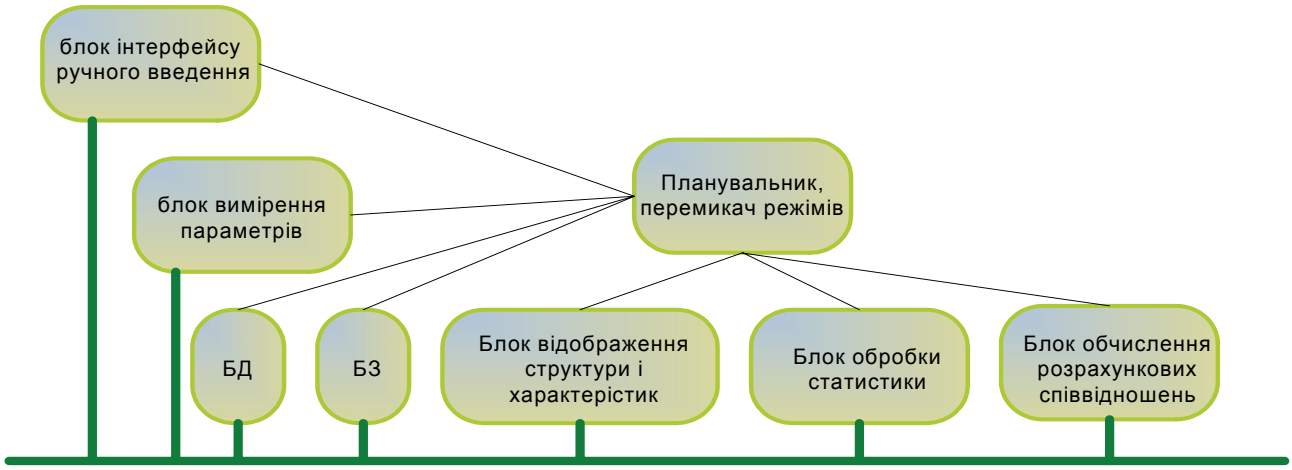


Мал. 1. Структура взаємодії з агентами центрального блоку ПМА.

Структура ПМА, що виключає центральний блок, що наведена на мал.1, дозволяє адміністратору спостерігати за параметрами роботи мережі та вносити зміни в конфігурацію мережі. Зовнішні агенти, що вимірюють спостереження повинні збирати інформацію про заданий сегмент мережі і передавати зібрану інформацію центральному блоку системи.

Структура центрального блоку інтелектуального адміністратора мережі представлена на мал. 2. Вона складається з наступних компонентів.

Бази даних (БД) – блоку, який містить актуальні дані про мережу.



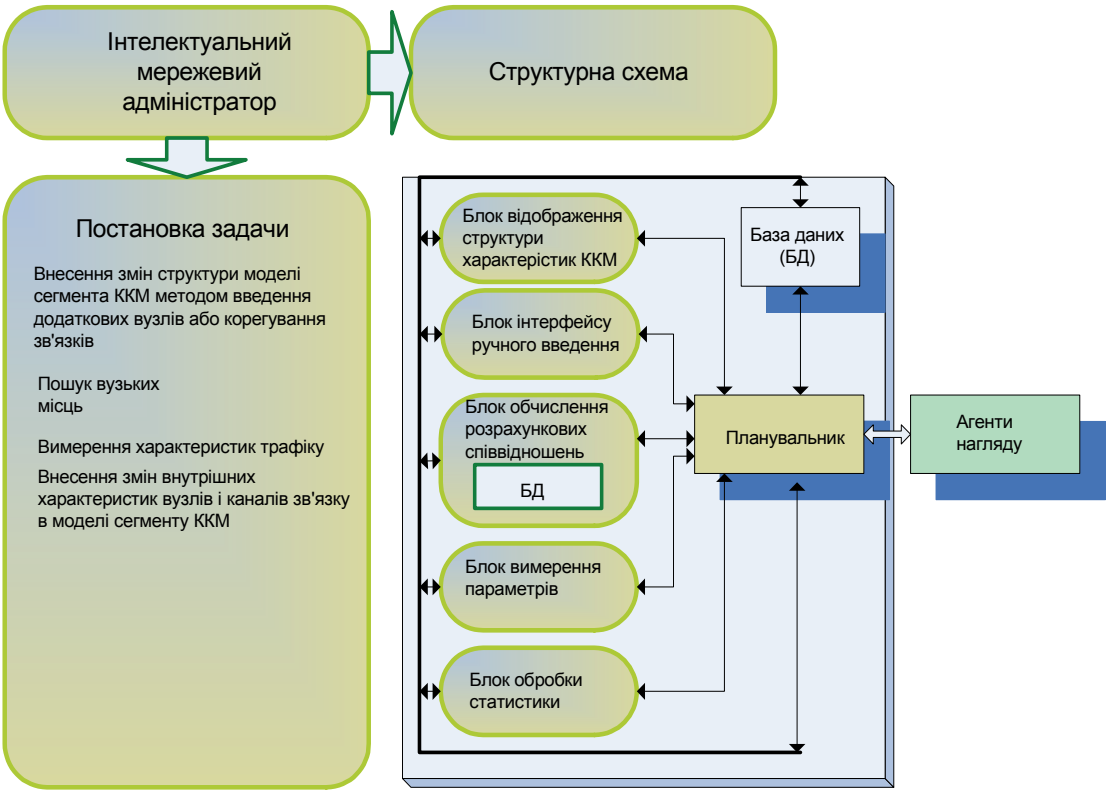
Мал. 2. Структура центрального блоку ПМА

Блоку обчислення розрахункових співвідношень (БРС), призначеного для обчислення характеристик мережі.

Блоку знань (БЗ), який містить формули і характеристики законів розподілів, які використовуватиме для роботи БРС.

Блоку відображення структури і характеристик, що призначений для організації взаємодії мережевого адміністратора з адміністратором системи.

Структура інтелектуального мережевого адміністратора, наведена на мал. 3, складається з центрального блоку, агентів спостереження.



Мал. 3. Структурна схема інтелектуального мережевого адміністратора

Побудувавши модель функціонування ККМ, можна визначити не лише кількість пріоритетних користувачів, які забезпечують необхідну якість управління продуктивністю всієї обчислювальної мережі, але і отримати функціональні залежності зміни кількості пріоритетних користувачів ККМ від допустимого часу реакції.

Допустимий час реакції визначає можливості мережевих ресурсів виконувати ті або інші завдання, доставити повідомлення, що задовольняють вимогам швидкодії, які пред'являють користувачі.

Список літератури

1. *Тербер К.Дж.* Архитектура высокопроизводительных вычислительных систем / К. Дж. Тербер: пер. с анг. – М.: Наука. Гл. ред. Физ-мат. Лит-ры, 1985. – 272 с.

2. *Кульчин М.* Технологии корпоративных сетей . М. Кульчин. – СПб.: Питер, 200. – 704 с.

3. *Усов А.* Введение в методы оптмизации и теорию технических систем .. А.В. Усов, Г.А. Оборский, Ю.А. Морозов, К.А. Дубров. – Одесса: Астропринт. – 2005 г. – 496 с.

4. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети . В.Г. Олифер, Н.А Олифер. – 3-е изд. – СПб.: Питер. – 2006. – 958 с.

УДК 65.012.123 (045)

Г.С. Краліна
(Національний авіаційний університет, Україна)

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ КОРАБЕЛЬНОГО БАЗУВАННЯ

В статті підіймається проблема організації забезпечення польотів на рухливих аеродромах. Розглянуто специфіку задач, що стоять перед корабельною авіацією. Пропонується метод оперативного планування технічного обслуговування планування технічного обслуговування літальних апаратів корабельного базування, наведено математичну модель задачі та алгоритм її рішення.

Корабельна авіація складається з корабельних літаків і вертольотів різного цільового призначення. На рухливих аеродромах базуються літаки вертикального або короткого злету і посадки та вертольоти, велика увага приділяється організації технічного обслуговування і ремонту літаків [1].

Під організацією польотів мається на увазі комплекс заходів, проведених по плануванню польотів і підготовці до них. Вимогами, які висуваються до підготовки літальних апаратів корабельного базування (ЛАК) до польоту, є: висока якість і повнота виконання необхідного обсягу робіт, відповідність підготовки польотному завданню, мінімальний час підготовки [2].

Безпосередньо перед польотом на ЛАК проводяться тільки ті роботи, які не можна зробити завчасно, і роботи, що відбивають специфіку даного польотного завдання. Обсяг і послідовність робіт, виконуваних при підготовці ЛАК до польоту, визначаються інструкцією з експлуатації, технологією виконання робіт для даного типу АТ і регламентом технічного обслуговування.

Організація забезпечення польотів у ході повсякденної діяльності, бойової підготовки і бойових дій на рухливих аеродромах, являє собою складний процес і вимагає високої погодженості дій усіх підрозділів авіагрупи. Технічне забезпечення польотів є однією з найважливіших складових цього процесу і включає:

1) інженерно-авіаційне забезпечення польотів;
2) матеріально-технічне забезпечення польотів.

Ефективне керування технічним забезпеченням є однією з обов'язкових умов для виконання задач, що поставлені перед корабельною авіацією.

Управління технічним обслуговуванням літальних апаратів корабельного базування (ТО ЛАК) припускає реалізацію функцій обробки даних і прийняття рішень у двох часових контурах: контурі планування і контурі оперативного управління. У першому з них здійснюється календарне планування операцій, що утворять у сукупності керований технологічний процес. Точних методів рішення задач даного класу в даний час не існує. Тому на практиці звичайно використовуються різноманітні евристичні алгоритми, що не володіють властивістю повноти і, відповідно, не гарантують знаходження припустимих рішень задачі у всіх ситуаціях, коли вони об'єктивно існують. Функція другого часового контуру реалізується в збійних станах керованого процесу, коли своєчасне завершення всіх запланованих комплексів робіт з ТО ЛАК виявляється неможливим через різні впливи стохастичного характеру. Проведений аналіз математичних методів теорії прийняття рішення, показав, що усі вони носять аксіоматичний і евристичний характер (не мають строгого наукового доказу), завжди залишаючи вироблення остаточного рішення за особою, що приймає рішення.

Задача планування технічного обслуговування ЛАК є складовою частиною спеціального програмного забезпечення моделюючого комплексу автоматизованої системи управління авіаційним комплексом.

У процесі планування ТО ЛАК здійснюється:

1) введення вихідних даних для розрахунку і розрахунок технологічних графіків по усіх видах підготовок ЛАК АЕ в льотну зміну;

2) формування планів і планів-графіків по усіх видах підготовок ЛАК АЕ в льотну зміну;

3) збереження в базі даних ТО АТ;

4) коригування (при необхідності) і збереження в базі даних ТО АТ планів ТО по усіх видах підготовок ЛАК у льотну зміну;

Задача планування ТО ЛАК формулюється в такий спосіб.

Задано: I – множина бортових номерів ЛАК, як необхідно підготувати до вильоту, із зазначенням виду підготовки кожного ЛАК; t_i^B – час завершення підготовки i-го ЛАК до вильоту; $i \in I$.

Необхідно:

– спланувати виконання робіт з підготовки всіх зазначених ЛАК до вильоту;

– встановити, чи можливо виконання даного завдання у встановлений термін (якщо ні, те з якої причини);

– сформувати індивідуальні завдання виконавцям робіт (фахівцям);

В наведеній постановці задача оперативного планування ТО ЛАК є різновидом загальної задачі теорії розкладів. Ефективних точних методів рішення задач подібного класу в даний час не існує. Відомі наближені методи, застосовувані, як правило, для рішення приватних видів загальної задачі теорії розкладів, у даному випадку не можна вважати прийнятними, оскільки усі вони базуються на використанні евристичних елементів. Спроби поширення їх на загальну постановку приводять до того, що алгоритми вироблення рішень втрачають властивість повноти і, отже, не можуть гарантувати відшукання рішення задачі у всіх випадках, коли воно об'єктивно існує. Крім того, евристичні алгоритми не мають можливість оптимізації рішень за заданими критеріями.

Зазначені обставини сприяли розробці якісно нового методу рішення задачі оперативного планування ТО ЛАК. Він передбачає побудову загальної математичної моделі даної задачі, що дозволяє застосовувати до її рішення ефективний алгоритм комбінаторної оптимізації.

Розв’язання задачі планування ТО ЛАК у льотну зміну включає наступні етапи:

1) представлення технологічних процесів підготовки ЛАК до вильоту у виді мережевих графіків;

2) розрахунок мережевих графіків і визначення резерву часу окремих операцій;

3) перехід до дискретного часу і формування східчастих функцій, що відбивають потребу фахівців кожної категорії і їхню наявність у межах льотної доби;

4) планування технологічних процесів підготовки групи ЛАК до вильоту;

5) варіювання термінів виконання окремих операцій у межах резервів часу;

6) формування індивідуальних графіків роботи фахівців у розглянуту льотну зміну.

Висновки

Таким чином, сукупність сучасних інформаційних технологій, дозволяє вести мову про розробку методу прийняття рішень в системах планування та ситуаційного управління, головним призначенням якого є своєчасне і якісне забезпечення всіх інформаційних потреб керівників у процесі ухвалення рішення.

Список літератури

1. *Павленко В. Ф.* Корабельные самолеты. – М.: Воениздат, 1990. – 320 с.

2. *Анцелович Л.Л.* Надежность, безопасность и живучесть самолета: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Самолетостроение». / Анцелович Л.Л. – М.: Машиностроение, 1985. - 296 с.

УДК 681.5.083

Е.П. Нечипорук, кандидат технических наук
(Национальный авиационный университет, Украина)

ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Описаны основные проблемы идентификации множественных комбинаций единичных отказов в задачах диагностирования сложных технических систем.

Диагностирование является одной из самых интеллектуальноемких процедур в процессе эксплуатации сложных технических объектов (СТО). Однако в процессе создания объектов диагностирования (ОД) знания о них, закладываемые в алгоритмы, программы и технические средства диагностирования, часто оказываются недостаточными для обеспечения требуемого уровня готовности ОД в процессе его эксплуатации.

Это относится к таким ОД, как, например, авиационные двигатели. Такого рода ОД представляют собой сложные технические системы со значительной структурной, состоящие из большого числа элементов с различными принципами действия, режимами работы, процедурами обслуживания и условиями эксплуатации. Процессы деградации в элементах таких систем имеют различные закономерности и часто недостаточно изучены. Весьма проблематичной является установка необходимых датчиков (даже если они существуют) на ряде элементов и организация интерфейса для передачи диагностической информации. Все это обуславливает ограниченность исходной базы знаний (БЗ) системы диагностирования и приводит к снижению уровня достоверности принимаемых решений об актуальных и прогнозных технических состояниях ОД.

Стремительные темпы развития и внедрение во все сферы деятельности современных технических систем, непрерывный рост их структурной сложности и размерности, специализированные условия применения и требования к безотказности выполняемых аппаратурой функций определяют актуальность проблемы надежности, качества и безопасности эксплуатации технических объектов. Большое значение в успешном решении этих задач принадлежит методам и средствам контроля и диагностики технических систем и программного обеспечения.

При проектировании сложных объектов следует учитывать требования технического контроля - своевременно определять действительное состояние объекта (исправное, допустимое, предаварийное, аварийное), и, в случае неисправности, эффективно обнаруживать и устранять возникшие дефекты.

Инженерная практика все чаще сталкивается с проблемой решения задач диагностики сложных технических систем с большим числом возможных дефектов, требующих быстрой локализации для предотвращения серьезных аварийных последствий. Решение этих задач требует разработки математических моделей, методов и алгоритмов эффективного обнаружения дефектов, применимых не только в конкретной прикладной области, но обладающих свойством общности для большого класса технических систем.

Основоположниками теории диагностирования дискретных и непрерывных технических систем являются отечественные и зарубежные ученые П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян, В.В. Карибский, А.В. Мозгалевский, Я.Я. Осис, В.А. Гуляев, Д. Маеда, С. Рамомурти.

Рост размерности и структурной сложности технических устройств опережает возможности активно используемых методов поддержания их в работоспособном состоянии своевременным обнаружением дефектов. Необходима разработка новых эффективных моделей для решения задач диагностики объектов, состоящих из нескольких сотен и даже тысяч единиц, автоматизация процедур построения оптимальных стратегий диагностирования технического состояния и прогнозирования поведения сложных современных технических систем.

Повышение конструктивной сложности систем при прочих равных условиях неизбежно ведет к снижению их надежности и эффективности выполнения ими заданных функций. Противоречие между ростом сложности технических систем и снижением их надежности приводит к необходимости разработки эффективных методов контроля и диагностики их состояния. Реализация мероприятий по повышению надежности за счет обеспечения контролепригодности и диагностируемости связана с дополнительными затратами, в этой связи актуальна задача оптимизации ресурсов по критериям максимума показателей надежности. Анализ причин и характеристик дефектов позволил выполнить их классификацию по основным признакам, так как успешность применения методов диагностирования определяется точностью построения модели причинно-следственных связей дефектов.

Обзор работ в области диагностики технических средств показал отсутствие общего подхода к построению эффективных моделей и алгоритмов диагностирования причин возникновения отказов и анализа предаварийных ситуаций в объектах с числом дефектов до нескольких сотен единиц. В результате формулируются постановки задач исследования – разработка моделей и алгоритмов синтеза процедур диагностирования структурно-сложных объектов, оптимизирующих объем обрабатываемой диагностической информации с целью принятия решений по управлению объектом.

Проведение диагностической процедуры и обработка ее результатов имеет большую трудоемкость, или, более того, нереализуема из-за ограничений на вычислительные ресурсы. Проведенные исследования выявили необходимость создания принципиально новой модели представления данных об объекте для целей диагностирования, на базе которой возможно организовать эффективную комбинационную процедуру поиска дефектов для сложных систем с большим числом состояний.

При исследовании сложных технических систем с использованием методов математического моделирования возникает ряд проблем, обусловленных большой размерностью задачи и необходимостью учета множества факторов, присущих системе и влияющих на качество решения задачи.

Выводы

Идентификация множественных отказов возможна лишь при использовании специализированных экспертных систем диагностирования, способных устанавливать комбинации единичных отказов, в совокупности приводящих к наблюдаемым изменениям значений контролируемых параметров объекта диагностирования.

Комбинаторный характер задачи определения множественных отказов обусловил попытку применения к ее решению метода направленного перебора вариантов. Это требует разработки правил формирования комбинаторной модели, адекватной логико-лингвистической модели диагностирования в той ее форме, которую она приобретает после настройки на ситуацию. Поскольку задача диагностирования не является оптимизационной, такая комбинаторная модель в общем случае принимает вид системы нелинейных уравнений с булевыми переменными.

Список літератури

1. Литвиненко А.Е. Метод направленного перебора в системах управления и диагностирования. – К., 2007. – 365 с.

2. *Чернорyцкий, И.Г.* Методы оптимизации и принятия решений. – СПб.: Лань, 2001.–384 с.

3. *Костюков В.Н.* Мониторинг безопасности производства. – М.: Машиностроение, 2002. – 224 с.

4. *Дмитриев С.А., Литвиненко А.Е., Степушкина Е.П., Попов А.В.* Экспертные модели определения множественных отказов в авиационных двигателях. – Вестник двигателестроения. – 2005. – №1. – с. 67-77.

УДК 004.7:654.195.6(045)

А.В. Лазебний, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЗИЧНОГО КАНАЛУ НА ЯКІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СЕГМЕНТУ БЕЗПРОВОДОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

В статті розглянуто вплив відношення сигнал шум та величини інфомаційних пакетів на пропускну здатність безпроводової мережі "Wi-Fi". Отримано розрахункове співвідношення для визначення пропускної здатності та залежності максимально можливої пропускної здатності безпроводового каналу з шумами у мережі за стандартом IEEE 802.11a.

Найбільш важливими характеристиками фізичного каналу, що визначають телекомунікаційні можливості безпроводової мережі в цілому, є рівень сигналу та співвідношення сигнал-шум на вході приймача. Співвідношення сигнал-шум визначає можливість правильного детектування інформаційних сигналів. Цей процес характеризується коефіцієнтом помилкових бітів (BER) та коефіцієнтом помилкових пакетів (PER) [1]. Коефіцієнт помилкових пакетів *PER* можна розглядати, як імовірність не правильного передавання пакета на фізичному рівні

Визначимо вплив відношення сигнал-шум E_b/N_0 на пропускну здатність каналу. Оцінювання цього впливу зробимо скориставшись програмним комплексом для проектування та моделювання безпроводових телекомунікаційних мереж «Advanced Design System» корпорації «Agilent Technologies».

Оскільки у специфікації IEEE 802.11a на фізичному рівні використано підходи, які згодом знайшли втілення у специфікаціях IEEE 802.11g та IEEE 802.11n для з'ясування особливостей функціонування безпроводових мереж стандартів IEEE 802.11x зробимо дослідження функціонування мережі IEEE 802.11a. Для моделювання було обрано найбільшу з обов'язкових швидкостей – 24 Мбіт/с.

Зробимо оцінку пропускної здатності, як функції відношення сигнал-шум у реальному каналі, для випадків використання двох типів транспортних протоколів, а саме – TCP та UDP. Перший, як відомо, забезпечує високу надійність передавання з установленням з'єднання, а другий – без установлення з'єднання.

Запропоновано методику оцінювання пропускної здатності, що складається з трьох етапів – на першому, розраховуємо максимальну пропускну здатність без урахування втрат пакетів у реальному каналі, на другому етапі, здійснюємо імітаційне моделювання процесу передавання пакетів на фізичному рівні й визначаємо коефіцієнт помилкових пакетів, третій етап - розрахунок пропускної здатності мережі з використанням результатів другого етапу.

Розглянемо окремо випадки, коли пакети містять 64, 128, 256, 512, 1024 або 1460 байтів корисної інформації. Розрахунок пропускної здатності для потоку TCP, що містять блоки даних з PL = 64 байти, без урахування колізій, інтервалів очікування і втрат пакетів через шуми в каналі у разі застосування сигнальної швидкості 24 Мбіт/с наведено в табл. 1. Враховано додаткову службову інформацію, яка є обов'язковою через інкапсуляцію пакетів у процесі передавання між окремими рівнями моделі OSI. Так, розглянуто найбільш загальний випадок, за якого на мережному рівні додається іще 8 байтів відповідно до протоколу SNAP, а на MAC рівні додається іще 28 байтів інформації TCP. Тобто, у разі застосування протоколу TCP, до кожного блоку даних буде додано на канальному рівні іще 36 байтів. Пакет даних 64 байти на канальному рівні набуде обсягу (64 +36)байти = 100 байтів = 800 бітів, один символ OFDM передає 192 біти кодованої послідовності зі швидкістю канального коду 1/2. Тобто, інформаційних бітів буде удвічі менше – 96. 800 інформаційних бітів породжують 1600 кодованих бітів, для передавання яких знадобиться 1600:192 = 8,3(3) → 9 символів OFDM. Тривалість одного символу становить 4 мкс. На

фізичному рівні 802.11a пакет супроводжується додатковим заголовком синхронізації приймача і службової інформації тривалістю 20 мкс.

Для розрахунку максимальної пропускної здатності каналу без урахування втрат пакетів і інтервалів очікування скористаємось співвідношенням [2]:

$$S_{\max} = \frac{E[PL]}{T_s}, \quad (1)$$

де $E[PL]$ – усереднене значення корисного навантаження в одному пакеті,

T_s – системний інтервал часу необхідний для передавання пакету даних (MPDU)

Результати розрахунків для блоків даних 128, 256, 512, 1024, 1500 байтів у форматі протоколу TCP для режиму DCF наведено в табл. 2, а у форматі UDP – табл.3.

Таблиця 1 – Приклад розрахунку максимальної пропускної здатності S_{max} для пакетів з корисним навантаженням 64 байти

	Кадр даних TCP	ACK TCP	T_c
DIFS, мкс	34	34	34
$\Delta t_{\text{TCP_дані}}$	20 мкс + 9·4 мкс = 20 мкс + 36 мкс=56 мкс	20 мкс + 3·4мкс = 20 мкс + 12 мкс	68 мкс
SIFS, мкс	16	16	16
802.11a ACK	20 мкс + 1·4мкс= 20 мкс + 4 мкс= 24 мкс	24 мкс	
Кадр, мкс	34+56+16+24=130	34+32+16+24=106	34+68+16=118
T_S, мкс	130+106=236		118
S_{max}	PL: T_S = 512:236 = 2, 169 Мбіт/с		

Таблиця 2 – Залежність максимальної пропускної здатності S від розміру блоку корисних даних у форматі TCP без урахування втрат часу на колізії та очікування для режиму DCF

Корисне навантаження PL, байтів	T_S, мкс	S_{max}, Мбіт/с	T_c, мкс
64	236	2,169	72
128	256	4,0	92
256	300	6,826	136
512	384	10,667	220
1024	556	14,733	392
1460	700	16,685	536

Таблиця 3 – Залежність максимальної пропускної здатності S від розміру блоку корисних даних у форматі UDP без урахування втрат часу на колізії та очікування для режиму DCF

Корисне навантаження PL, байтів	T_S, мкс	S_{max}, Мбіт/с	T_c, мкс
64	122	4,197	64
128	156	6,592	84
256	198	10,343	128
512	284	14,457	192
1024	454	18,044	384
1460	600	19,488	528

Засобами імітаційного моделювання було визначено залежність коефіцієнту помилкових пакетів PER від значення E_b/N_0. Усереднені значення коефіцієнта помилкових бітів PER залежно від значення E_b/N_0 наведено в табл.4.

Отримані значення коефіцієнта помилкових бітів *PER* використаємо для визначення пропускної здатність телекомунікаційного каналу безпроводової мережі з урахуванням витрат часу на очікування та втрат пакетів на фізичному рівні. Для розрахунку скористаємось співвідношенням

$$S = \frac{E[PL]}{E[RSS]} = \frac{E[PL]}{T_s + (n + p_c) \cdot T_c + n \cdot E[T_{idle}]}, \quad (2)$$

де $E[RSS]$ – тривалість реального системного інтервалу, необхідного для передавання одного інформаційного пакета,

n – кількість спроб передати інформаційний пакет без помилок,

$E[T_{idle}]$ – усереднені витрати часу на інтервали очікування, витрачені для передавання одного інформаційного пакета.

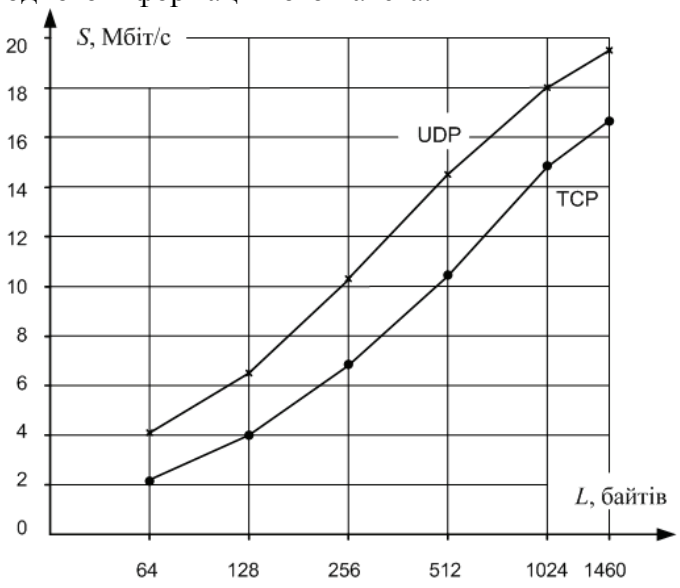


Рис.1. Графіки залежності максимальної пропускної здатності від розміру блоку корисних даних у форматі протоколів TCP та UDP для режиму DCF, сигнальна швидкість R = 24 Мбіт/с

Кількість спроб для передавання одного пакета без помилок безпосередньо залежить від коефіцієнта помилкових пакетів PER і може бути визначена як n = 1/(1 – PER). Усереднена тривалість одного інтервалу очікування перед передаванням одного пакету за ідеальних умов має значення $CW_i/2$. Для спрощення розрахунків, розглянемо варіант, коли витрати часу на очікування будуть мінімальні, тобто, коли CW_i має постійне значення $CW_i = (CW_{min} - 1) = CW$. Оцінюючи імовірність колізії для випадку, коли у мережі є дві активні станції з насиченим інформаційним потоком можна записати, що $p_c = 1/CW$.

З урахуванням зроблених зауважень розрахункове співвідношення (2) набуде вигляду:

$$S = \frac{E[PL]}{E[RSS]} = \frac{E[PL]}{T_s + (\frac{1}{1-PER} + \frac{1}{CW}) \cdot T_c + \frac{1}{1-PER} \cdot \sigma \cdot \frac{CW}{2}}. \quad (3)$$

Таблиця 4 – Пропускна здатність реального каналу з насиченим сигнальним потоком із однорідних пакетів у форматі протоколу TCP з навантаженням *PL*

	S, Мбіт/с				
E_b/N_0	8	9	10	11	12
PER	0,9	0,4	0,1	0,02	0,000
PL=64 байтів	0,31956	1,28096	1,60234	1,67077	1,68699
PL = 128	0,56444	2,35987	2,99500	3,13265	3,16538
PL = 256	0,89801	4,02191	5,23626	5,50777	5,57279
PL = 512	1,29171	6,27312	8,44407	8,94975	9,07198
PL = 1024	1,64030	8,64814	12,09224	12,93315	13,13873
PL = 1460	1,79125	9,78507	13,92921	14,92559	15,21697

Графічні залежності максимально можливої пропускної здатності безпроводового каналу з шумами, реальної мережі за стандартом IEEE 802.11a наведено на рис. 2

Таблиця 5 – Пропускна здатність реального каналу з насиченим сигнальним потоком із однорідних пакетів у форматі протоколу UDP з навантаженням *PL*

	S, Мбіт/с				
E_b/N_0	8	9	10	11	12
PER	0,9	0,4	0,1	0,02	0,000
PL=64 байтів	0,36276	1,82850	2,50263	2,66291	2,70185
PL = 128	0,62538	3,11973	4,24975	4,51686	4,58166
PL = 256	0,97440	5,10059	7,10691	7,59464	7,71375
PL = 512	1,46171	7,68432	10,72938	11,47155	11,65292
PL = 1024	1,70121	9,75741	14,25908	15,42062	15,70853
PL = 1460	1,84117	10,73562	15,83562	17,12898	17,49813

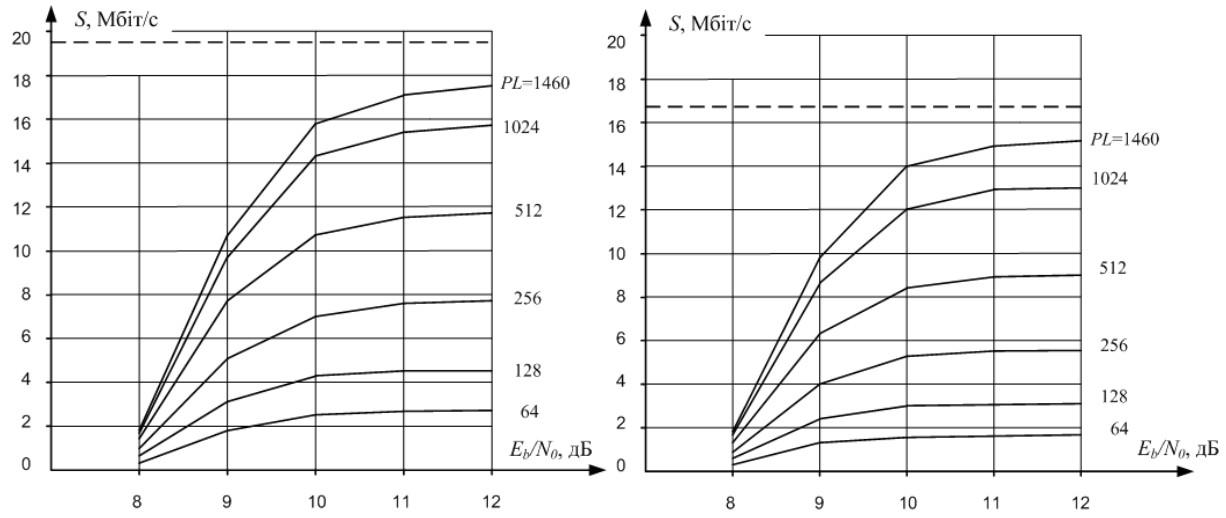


Рис. 2. Графіки залежності пропускної здатності безпроводового каналу від E_b/N_0 у разі передавання пакетів з корисним навантаженням *PL* у форматі (а) – TCP, (б) – UDP

Пунктиром на рис.2 наведено розрахунковий рівень пропускної здатності каналу без урахування втрат для пакету з корисним навантаженням 1460 байтів.

Висновки

З отриманих розрахункових залежностей рис.1 і (3) та результатів моделювання рис.2, можна зробити висновок, що для забезпечення передавання інформаційних пакетів з високою швидкістю і малими втратами слід застосовувати методи, за яких транспортні кадри містять якомога більше корисного навантаження, а також методи, що забезпечують більше відношення сигнал-шум на вході приймача. Такими методами можуть бути методи агрегування файлів малої величини у великі транспортні кадри відповідно до специфікації 802.11e. Отримані результати щодо оцінки пропускної здатності безпроводової мережі в реальних умовах мають хорошу кореляцію з результатами, отриманими іншими дослідниками у процесі натурних та імітаційних випробувань [3-4]

Список використаних джерел

1. *Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А.* Сети и системы радиодоступа. – М.:Эко-Трендз, 2005. – 384 с.

2. *Giuseppe Bianchi*, Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function// IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2000. – vol. 18 – №. 3. – p. 1055 – 1067

3. *Спичихин А. С.* Системы беспроводного широкополосного доступа. Функциональность и основные технические характеристики.//Технологии и средства связи. – 2006. – № 2. – с.43-48.

4. Передача потокового видео в сетях: руководство THG. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.thg.ru/network/video_streaming_i/index.html

УДК 044.7(045)

В.В. Марченко, аспірант,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОВАНОЇ ЯКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМУ АКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЧЕРГАМИ

В статті піднімається проблема передавання відеоінформації засобами інформаційних мереж в режимі реального часу. Побудовано імітаційну модель мережевого каналу в системі NS-2 та проаналізовано параметри алгоритму активного управління чергами (WRED). Розроблено рекомендації щодо вибору оптимальних параметрів алгоритму WRED для забезпечення гарантованої якості передавання відеоінформації.

На сьогоднішній день розвиток мережевих технологій досяг такого рівня, що стає актуальним питання повсякденного застосування передачі інформації в режимі реального часу. У разі одночасного проходження великої кількості інформаційних потоків через мережу сервіс провайдера виникає проблема: як при обмежених ресурсах оптимізувати затримку доставки і втрати пакетів. Подібні вимоги є суттєвими, наприклад, у випадку надання таких сервісів: IP-телефонія, передача відеоінформації, керування обладнанням в режимі реального часу. У таблиці 1 наведено вимоги до параметрів гарантованої якості передавання (QoS) аудіо- та відео- інформації засобами IP-мережі.

Таблиця 1

Параметри QoS	Аудіо трафік (MUSICAM)	Відео трафік
Швидкість передавання	> 192 Кбіт/с	> 400 Кбіт/с
Джитер	< 400 мс	< 250 мс

Для вирішення цих проблем існують технології IntServ і DiffServ. IntServ реалізується в рамках протоколу RSVP і не дозволяє формувати декілька субпотоків з різними рівнями послуг. Дане дослідження присвячене DiffServ. Передбачається, що всі налаштування алгоритмів працюють в межах одного DiffServ домену. (DiffServ домен - це набір прилеглих вузлів, сконфігурованих з однаковою PHB (Per Hop Behavior) політикою).

Була поставлена задача знаходження оптимальних параметрів WRED, які у разі перевантаження забезпечували б гарантовану смугу пропускання і затримку відеопотоку.

При дослідженні формувалися три стаціонарних потоки пакетів (рисунок 1), які мали DSCP мітки. На підставі даних про проходження цих потоків через DiffServ домен (затримки, втрати, дисперсія затримок) встановлюються оптимальні значення для налаштування конфігурації маршрутизатора, при яких у разі перевантаження потік користувача отримає передбачувану смугу і затримку.

У дослідженнях використовувався транспортний протокол UDP. В якості параметрів, що характеризують потік, застосовувалися: імовірність втрати пакетів, час доставки пакета (RTT/2); смуга пропускання, доступна потоку. Потоки позначалися мітками DSCP? що дорівнюють 10, 12 і 14.

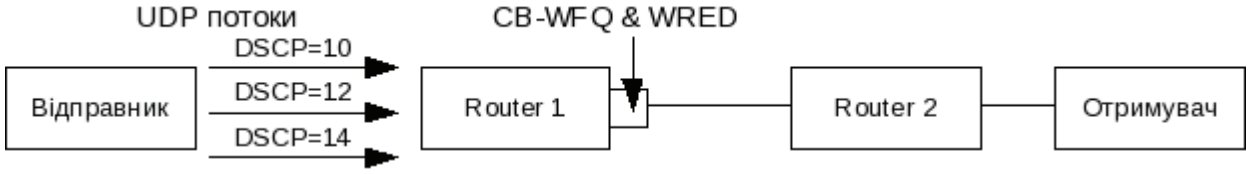


Рис. 1. Схема віртуальної тестової мережі

Віртуальний відправник надсилав одержувачу три UDP потоки пакетів зі швидкістю 920 Кбіт/с кожен (що створює загальний потік в 2,76 Мбіт/с). Швидкість відправлення пакетів потоків була постійною протягом всього сеансу передачі. Пакети мали довжину 1400 байт, тривалість посилки потоків (моделювання) становила 30 секунд. Віртуальний канал між

«Router 1» і «Router 2» мав пропускну спроможність 2 Мбіт/с. Сумарний потік даних відправника перевищував пропускну здатність каналу. Експеримент тривав 40 секунд. Щоб вивчити, як здійснювалась конкуренція між різними потоками в каналі, ми завантажували канал так, щоб нестача смуги була трохи менше 30% пропускної здатності. З кожною міткою DSCP була пов'язана певна черга.

Введемо позначення: DSCP 10 - відповідала черзі 1, DSCP 12 - 2, DSCP 14 - 3. Максимальні довжини середньозважених черг були рівні 40. Максимальний розмір пакетного буфера для кожної з черг дорівнював 40 пакетам.

При моделюванні використовувався алгоритм CBWFQ, який дозволяє виділити кожній черзі частку смуги вихідного інтерфейсу віртуального маршрутизатора.

Для черги 1 надавалося 41%, для черги 2 - 34%, а для черги 3 - 25% смуги пропускання каналу. При постановці у чергу працював алгоритм WRED.

Таблиця 2

	T_1	T_2	c	wq
Черга 1	35	40	1.0	0.002
Черга 2	30	40	1.0	0.002
Черга 3	20	40	1.0	0.002

T1 - нижній поріг відкидання пакетів;
T2 - верхній поріг відкидання пакетів;
p_c - максимальна вірогідність відкидання = (1.0/c) (c>=1 - параметр, використаний для надання максимальної ймовірності відкидання пакетів);
w_q - параметр усереднення при обчисленні середньозваженого значення довжини черги.
У маршрутизаторі існує дві причини відкидання пакетів:
ldrops - пакети, що відкидаються через перевищення потоком квоти, тобто відкидання відбувається через переповнення буферу черги;
edrops - пакети, відкинуті WRED (при постановці у чергу).
При моделюванні використовувалися такі значення квот для черг:

Таблиця 3

DSCP	10	12	14
Квота	45%	32%	23%

Саме ці квоти здебільшого визначають рівень втрат ldrops. Є причини, чому квоти були обрані саме так, а не інакше. Необхідно, щоб зі зменшенням значення DSCP, потік отримував кращу якість обслуговування, тобто менше втрачався і менше затримувався в буфері. Кожен з потоків, що надсилається в мережу, має однакову смугу, позначимо її «A». Тоді сумарний потік даних від трьох потоків - «3*A». Нехай вихідна смуга каналу дорівнює «B».

У випадку, якщо B<A - найважливішому потоку не вистачає смуги, а іншим двом потокам зовсім не залишається смуги у вихідному каналі. Їх можна було б взагалі не передавати, все одно вони будуть відкинуті.

Якщо B>3*A, то всі потоки будуть передані одержувачу без втрат і затримок і алгоритми обслуговування черг не будуть використовуватися маршрутизатором.

Інтерес представляє випадок, коли A<B<3*A. Для потоку з DSCP 10 виділяється квота смуги завідомо достатня, щоб потік не губився. Решта два потоки будуть загублені і для них спрацює процедура управління чергою.

На рис. 2. показані часові залежності смуги пропускання, виділеної під кожен потік. Ця залежність допоміжна і ілюструє лише те, що потоки отримали правильну частку смуги (див. таблицю 3).

Алгоритми, які розпоряджаються долею пакетів при вилученні з черги, називаються диспетчерами (schedulers). У сумі рівноважні рівні пропускної здатності (рисунок 2) дають 2Мбіт/с.

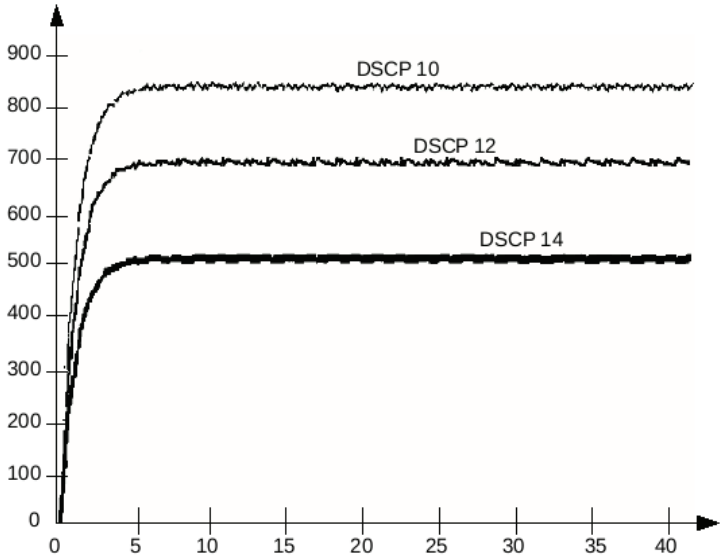


Рис. 2. Часові залежності пропускної здатності для субпотоків з різними значеннями DSCP. По вертикалі відкладено смугу пропускання у кбіт/с, а по горизонтальній осі час з початку експерименту у секундах

На рисунку 3 наведені часові залежності затримки розповсюдження пакету (RTT/2) для кожного з потоків. Для потоків з DSCP=12 і 14 спостерігається викид в області 7-17сек. Цей викид пов'язаний з буферизацією пакетів в черзі і роботою алгоритмів WRED і Tail Drops. Найбільш пріоритетний потік має DSCP=10, отже, його пакети проводять у черзі менше часу. Потокам з DSCP=12 і 14 не вистачає смуги пропускання, і вони змушені довше перебувати в черзі.

Проблема оптимізації налаштувань параметрів алгоритму WRED пов'язана з допустимими вимогами додатка до граничних величин втрат і затримок пакетів. Від вимог кожного конкретного додатка залежить відповідь на питання: значення якого з двох параметрів QoS повинен забезпечувати WRED у першу чергу.

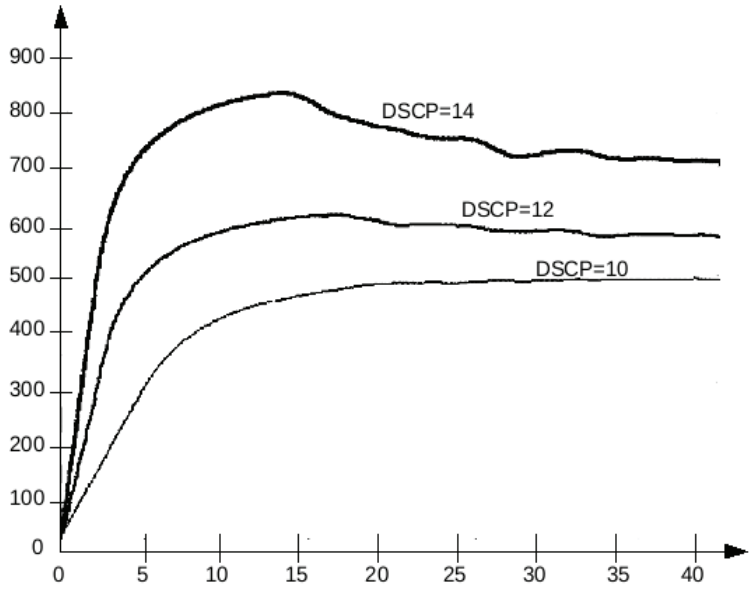


Рис. 3. Часова залежність RTT/2 для різних DSCP. По вертикалі відкладено затримку при передачі пакету у мілісекундах, а по горизонтальній осі час з початку експерименту у секундах

Збільшення затримки потоків з DSCP = 12 і 14 відбувається через роботу алгоритму WRED. Середньозважена довжина черги обмежена значенням 40 (T2 = 40), а WRED починає відкидати пакети, коли середньозважена довжина черги перевищує поріг T1.

Вибір параметрів WFQ та WRED сильно впливають на поведінку втрат та затримок

пакетів. На рисунку 4 наведено часову залежність загальних втрат пакетів, яка складається з суми значень edrops та ldrops.

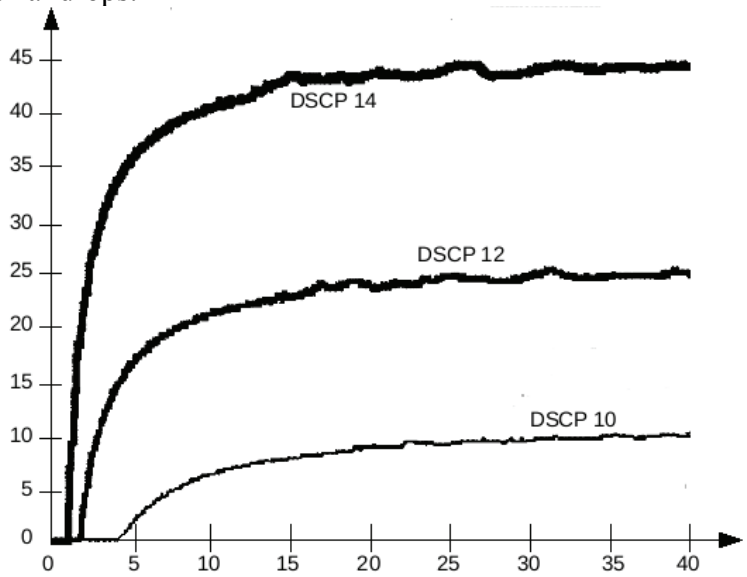


Рис. 4. Залежність втрати пакетів від часу. По вертикалі відкладено процент втрачених пакетів, а по горизонтальній осі час з початку експерименту у секундах

Слід зазначити, що чим менше значення p_c (менша частина пакетів відкидається алгоритмом WRED) тим більше пакетів буде відкинуто на виході буферу у зв'язку із обмеженням квоти.

Висновки

Моделювання показало, що навіть у випадку рівномірної затримки має місце відкидання пакетів, а це призводить до спотворення зображення при передачі відеоінформації в реальному часі. Необхідно чітко знати усі параметри потоку відеоінформації (швидкість передавання, джитер та допустимий коефіцієнт бітових помилок), якому необхідно забезпечити гарантовану якість передачі по мережі. Розроблена модель у системі NS-2 дозволяє відтворити чітку схему мережі, яка за допомогою алгоритму WRED забезпечить гарантовану якість передавання відеоінформації у реальному часі.

Список літератури

1. *Floyd S., Fall K.* Promoting the Use of End-to-End Congestion Control in the Internet, IEEE/ACM Transactions on Internetworking, V7, N4. August 1999.

2. Floyd S., Jacobson V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance, IEEE/ACM Transactions on Networking, August 1993,

3. *Засецкий А.В., Иванов А.В., Постников С.Д., Соколов И.В*. Контроль качества в телекоммуникациях и связи. Часть 2, под редакцией Иванова А.Б. - М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001.

4. The NS-2 network simulator (ver.2) LBL,http://wvm-mash.CS.Berkeley.edu/ns

УДК: 534.4: 621.391

М.П. Савельев, аспирант
(Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Украина)

СИНТЕЗ РЕЧИ ПО ПАРАМЕТРАМ ДИКТОРА

В данном докладе рассматриваются основные этапы построения системы синтеза речи, которая по спектральным характеристикам будет максимально напоминать речь определённого диктора. Используются подходы, применяемые в формантном и компиляционном видах синтеза речи.

Основным назначением описываемой системы есть синтез речи максимально напоминающей речь определённого диктора. Простейшей проверкой качества такой речи будет правильное распознавание синтезированной речи инструментарием, основанным на записях определённого диктора. Задача синтеза речи является обратной к задаче распознавания. В случае синтеза по параметрам определённого диктора необходимо иметь в распоряжении набор эталонных элементов, используемых в синтезе.

Для описываемой задачи наиболее рационально использовать формантный или компиляционный методы синтеза. Артикуляционный метод является довольно сложным для реализаций в должном качестве.

Соединение предварительно записанных высказываний естественного языка это, наверное, самый простой способ генерирования чёткой и естественно звучащей синтетической речи. Однако, компиляционные синтезаторы обычно ограничены одним диктором и одним голосом и требуют больших затрат памяти чем остальные методы.

Одним из наиболее важных аспектов в компиляционном синтезе является нахождение верной длины отрезка. Выбор это обычно компромисс между более длинными и более короткими отрезками. С большей длиной достигается большая натуральность, нужно меньше точек связки и лучший контроль над коартикуляцией, но увеличиваются количество необходимых отрезков и памяти. С более короткими отрезками требуется меньше памяти, но процедуры сборки и маркирования отрезков становятся более сложными. В современных системах отрезки это обычно слова, слоги, полуслоги, фонемы, дифоны и иногда даже трифоны.

Слова это, скорее всего наиболее естественный отрезок для письменного текста и некоторых систем посылки сообщений с ограниченным словарём. Соединение слов является относительно простым и эффекты коартикуляции в пределах слова заключены и сохранены в отрезках. Однако существует большая разница в словах произнесённых отдельно и в продолжительной речи, что делает звучание синтезированной речи очень ненатуральным. В силу существования сотен тысяч различных слов и собственных имён в каждой речи, слово не является подходящим отрезком для неограниченных систем синтеза любого типа.

Если было принято решение использовать в целевой системе компиляционный метод синтеза, то одной из важнейших задач будет решение проблемы сегментации эталонных отрезков речи. Только при правильном разделении фонем или иных единиц синтеза возможно получение более-менее качественной синтетической речи. На рисунке 1 представлено разбиение амплитудно-временного представления слова «два» на фонемы.

Для выполнения сегментации использовался метод верификации, базирующийся на исследовании изменений спектрально-полосного представления звукового сигнала. Спектрально-временное представление полученных сегментов может быть сохранено в базу данных эталонов для их дальнейшего использования.

Простейшая система синтеза речи может использовать подобную базу для склеивания фонем с целью получения слов. Объединяя спектрально-временные представления и преобразуя их к амплитудно-временному, мы получим синтетический звук. Типичными

проблемами такой реализации являются звуковые искажения в местах склеивания из-за частотных, временных и интонационных различий.

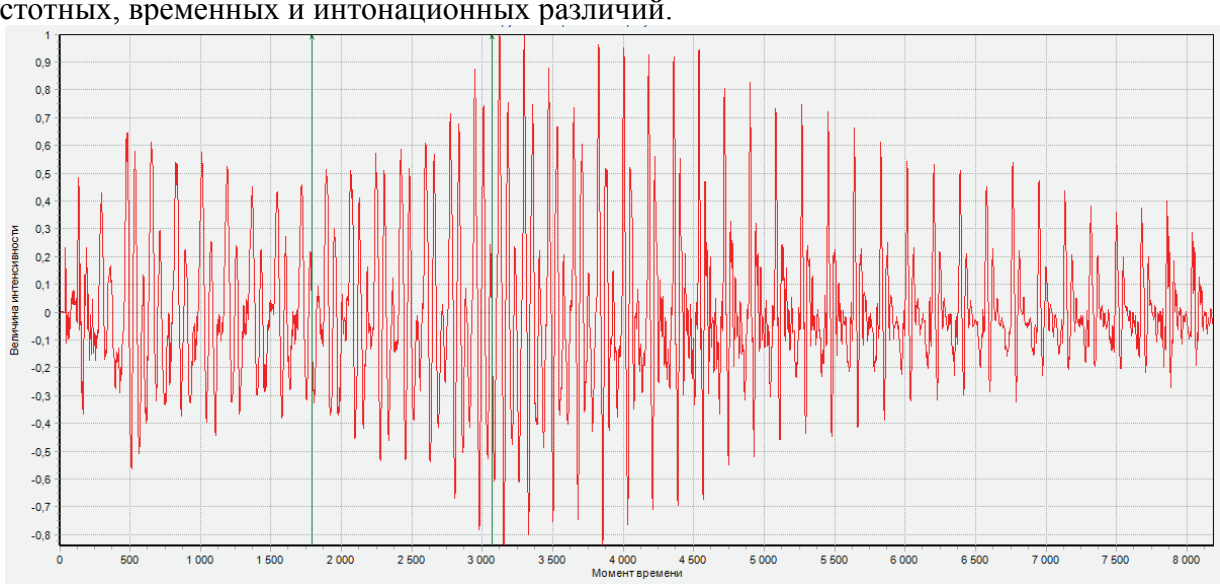


Рисунок 1. Разбиение слова "два" на фонемы

Один и тот же элемент устной речи может быть произнесён с разной скоростью, интонацией и эмоциональном состоянии. На рисунке 2 приведены два амплитудно-временных представления слова «пять»

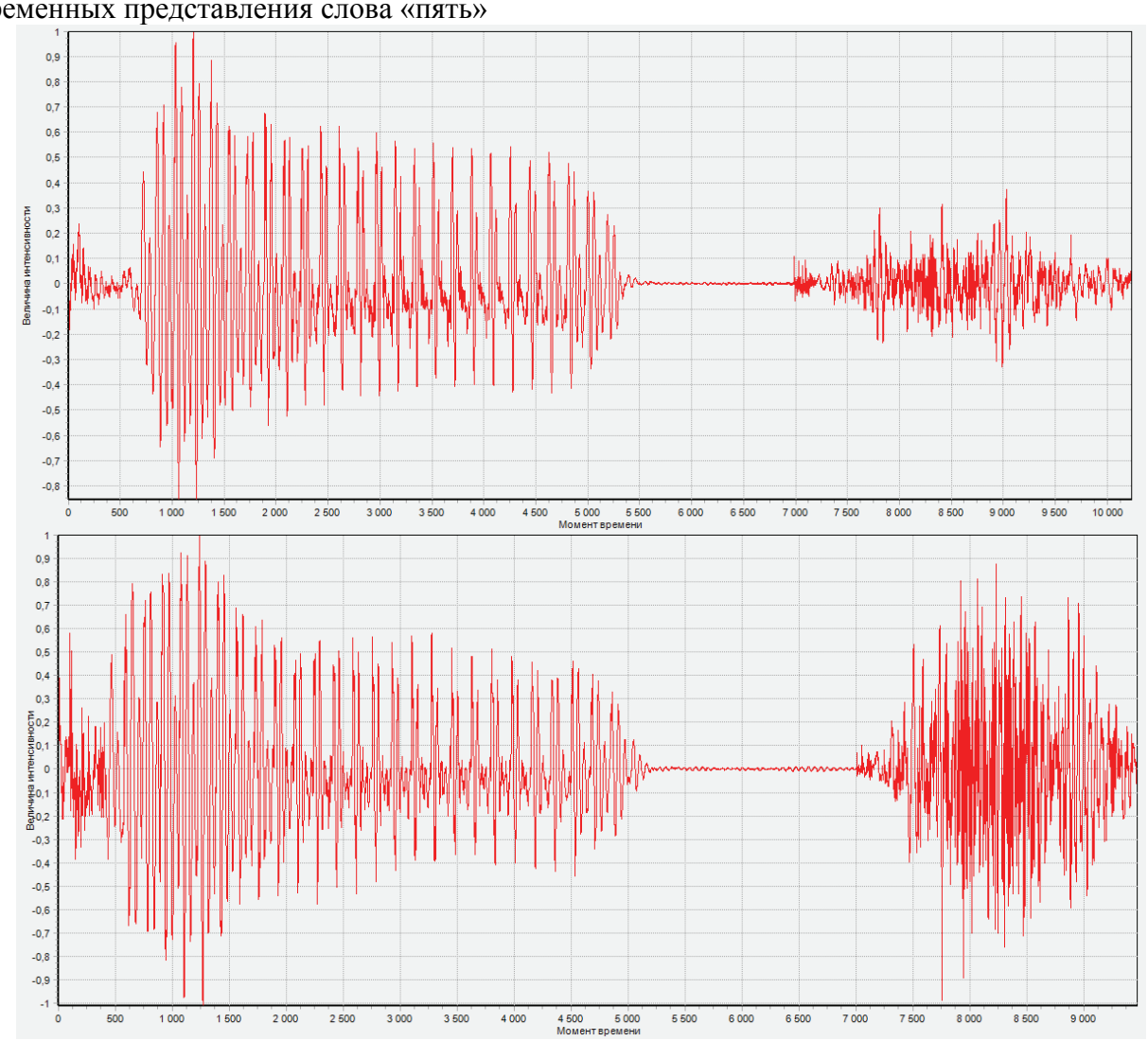


Рисунок 2. Два амплитудно-временных представления слова "пять"

Если рассмотреть на рисунке 3 соответствующие спектрально-временные представления можно заметить что для одних и тех же элементов они несколько отличаются.

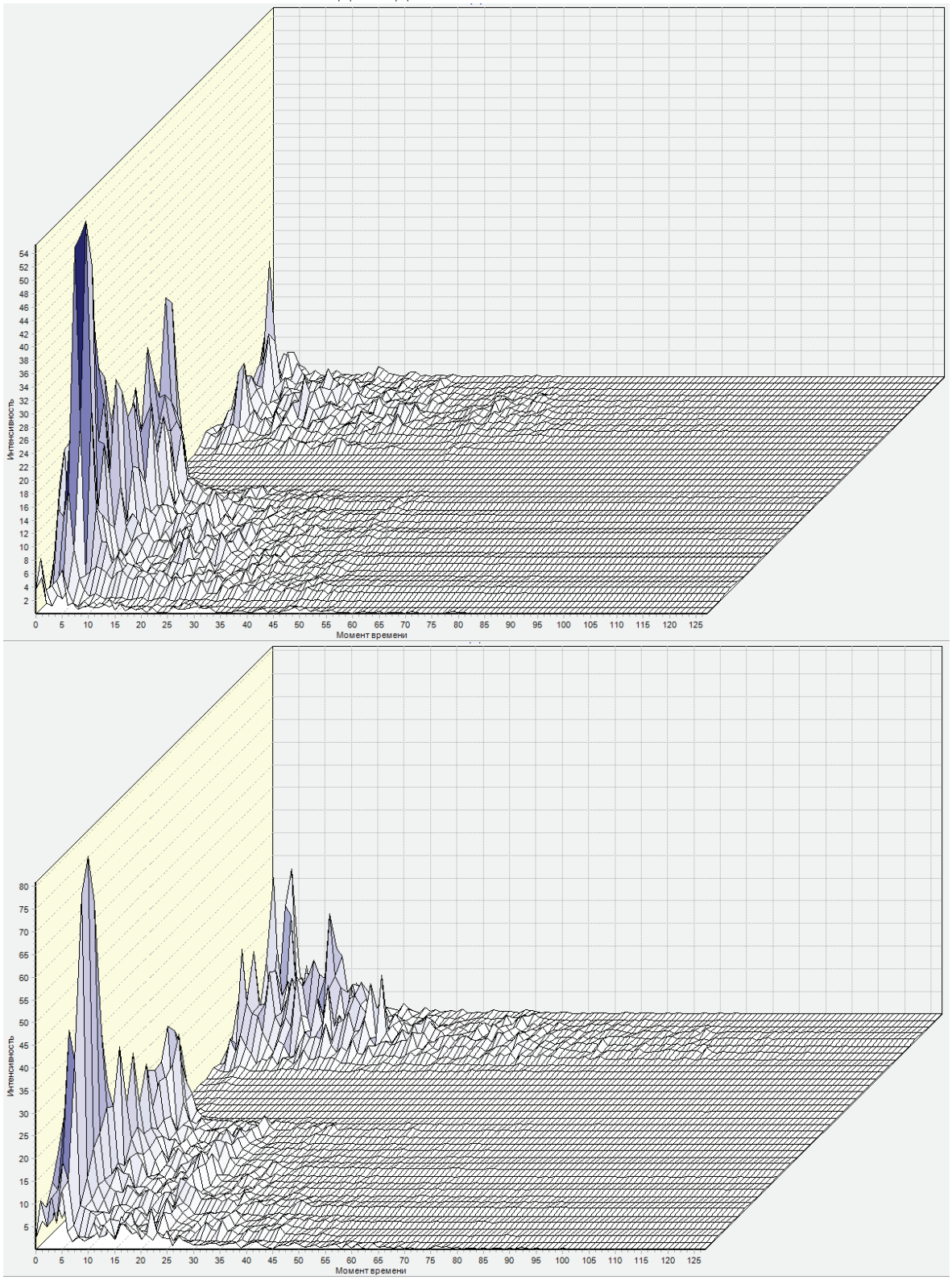


Рисунок 3. Два спектрально-временных представления слова "пять"

Если искусственно взять дифон *n'a* из первого образца и фонему *m'* из второго то получившееся слово «пять» звучит ненатурально. Необходимо применение дополнительных методов обработки места склеивания. К примеру, использование сплайн аппроксимации спектрально временного представления улучшает качество речи получаемой в результате. Также можно применять фильтры, работающие в диапазонах частоты основного тона и первых трех или четырех формант.

В случае формантного синтеза база эталонных образцов позволяет нам определить основные частоты, доминирующие в речи диктора и их соотношение для различных элементов. Формантный синтез основан на наборе правил, которые используются для определения параметров необходимых для синтезирования желаемого высказывания, используя формантный синтезатор. Входные параметры, например, могут быть следующими:

1. Частота основного тона
2. Уровень голоса в возбуждении
3. Формантные частоты и их амплитуды
4. Частота дополнительного резонатора низких частот
5. Интенсивности низко и высокочастотных областей.

Каскадный синтезатор формант состоит из полосно-пропускных резонаторов, соединённых в блоки, и выход каждого формантного резонатора подаётся на вход следующего. Каскадная структура требует лишь формантные частоты как информацию управления. Основным преимуществом каскадной структуры является то, что относительные формантные амплитуды для гласных не требуют дополнительного управления.

Каскадная структура считается лучше для не носовых звонких звуков и поэтому она требует меньше управляющей информации, нежели параллельная структура, поэтому она проще в реализации. Однако, с каскадной моделью генерирование фрикативов проблемно.

Параллельный формантный синтезатор состоит из резонаторов соединённых параллельно. Иногда дополнительные резонаторы используются для носовых звуков. Сигнал возбуждения применяется ко всем формантам одновременно и их выходы суммируются. Смежные выходы формантных резонаторов должны суммироваться в противоположных фазах для избегания нежелательных нулей или анти резонансов в частотном ответе. Параллельная структура разрешает управление полосой пропускания и весом для каждой форманты в отдельности и поэтому требует больше управляющей информации.

Широко распространена дискуссия про качество и соответствующие характеристики этих двух структур. Хороших результатов сложно достичь с единственным базовым методом, поэтому некоторые усилия были приложены на улучшение и комбинирование этих базовых моделей. В 1980 Деннис Клатт предложил более сложный формантный синтезатор, который объединяет каскадный и параллельный синтезаторы с добавочными резонаторами и анти резонаторами для носовых звуков, шесть формант для высокочастотного шума, пропускной путь для получения плоской передаточной функции и характеристики излучения. Система использовала довольно сложную модель возбуждения, которая контролировалась 39 параметрами, обновляющимися каждые 5мс. Качество формантного синтезатора Клатта было многообещающим, и эта модель была включена в несколько существующих систем генерации речи по тексту, такие как MITalk, DECtalk, Prose-2000, и Klattalk.

С точки зрения качества синтезируемой речи оба метода применимы, однако оба требуют качественной базы эталонов и дополнительной обработки в местах стыковки элементов.

Список литературы

1. Speech Analysis FAQ. (http://svr-www.eng.cam.ac.uk/~ajr/SA95/SpeechAnalysis.html).

2. *Г. Нуссбаумер.* Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свёрток. — М.: Радио и связь, 1985.

3. *А.В. Фролов, Г.В. Фролов*. Мультимедиа для Windows. Библиотека системного программиста, т. 15 М: Диалог-МИФИ, 1994 (http://info.datarecovery.ru).

4. *Л.В. Бондарко*. Звуковой строй современного русского языка. М.: Просвещение, 1997. 127 с.

5. *Л. Захаров.* Проблемы создания аллофонной базы автоматического синтеза речи (http://www.russian.slavica.org/article9339.html).

СЕКЦІЯ 6.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 519.6 : 519.21 : 511

Н.М. Глазунов, доктор физико-математичних наук,
(Национальний авиационный университет, Украина)

АРИФМЕТИЧЕСКИЕ ОТОБРАЖЕНИЯ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Рассматриваются арифметические отображения, определяемые ими числовые последовательности и их моделирование. По паре арифметических отображений, конечному разбиению области значения арифметических отображений, реализуется моделирование определяемой ими числовой последовательности, и её последующее кодирование. Исследуются теоретические основы моделирования и кодирования.

Введение. Работа развивает подход, предложенный в [1,2,5] и реализуемый в [2,3,5], содержит краткий обзор теории арифметических отображений алгебраических кривых и накрытий, представляет класс арифметических отображений Клостермана-Хассе и их моделирование.

В книге [1] представлены и исследованы функции, определенные на целых числах, на классах вычетов по простым модулям со значениями в единичном интервале, а также рассмотрены некоторые вопросы кодирования числовых последовательностей бесконечными в одну сторону последовательностями.

Дадим краткий обзор современных результатов. По необходимости, мы приводим в нашем кратком обзоре только фамилии авторов, отсылая за более подробными ссылками на работы этих авторов и обзорами работ этих авторов к реферативному журналу Zentralblatt MATH, который доступен на сайте http://www.zentralblatt-math.org/MATH/.

Начнем с β-преобразований и преобразований Бейкера: для единичного интервала $[0,1]$, $\beta > 1$ и $x \in [0,1]$ пусть

$$T_\beta(x) = \beta x \bmod 1,$$

есть β-преобразование и

$$d_\beta(x) = (x_i)_{i \geq 1}, x_i = \left[\beta T_\beta^{i-1}(x)\right],$$

соответствующее β-расширение. Символьная динамика β-преобразования была исследована А. Реньи (A. Rénei), который ввел это преобразование и доказал его эргодичность, а также В. Перри (W. Perry), который описал возможные последовательности, которые могут быть β-разложениями. Ключевая роль величины $d_\beta(1)$ отмечена Ф. Бланшаром (F. Blanchard). Дж. Александер (J. Alexander), Дж. Йорк (J. Yorke) а также С. Бозе (C. Bose) исследовали, соответственно, толстые преобразование Бейкера (fat baker's transformations) и обобщенные преобразование Бейкера (generalized baker's transformations). Натуральные (natural) расширения β-преобразований были охарактеризованы К. Дажани (K. Dajani), С. Кракампом (C. Kraaikamp) и Б. Соломяк (B. Solomyak). В статье Дж. Брауна (G. Brown) и К. Йина (Q. Yin) эти авторы изучают множество $\mathcal{S}$ всех таких β, определенных на просто связных подмножествах единичного квадрата, и с инвариантной мерой, являющейся константно кратной 2-мерной мере Лебега на $[0,1]^2$, для которых натуральное расширение T_β может быть представлено посредством отображения

$$\mathcal{T}_\beta(x,y) = \left(T_\beta x, \frac{[\beta x]+y}{\beta}\right).$$

В статье К. Дуйонга (Kwon, Doyong) исследуются достаточные условия для существования таких β-преобразований, для которых их натуральные расширения могут быть представлены как обобщенные преобразования Бейкера. К. Дуйонг характеризует такие β и изучает их свойства.

Ниже мы строим отображения в квадрат $[0, \pi]\times[0, \pi]$, моделируем и кодируем их продолжающимися (в том числе и бесконечными) в обе стороны последовательностями. Определяются отображения, которые мы называем отображениями Клостермана-Хассе (КХ). Отображения строятся на основе сумм Клостермана, соответствующих накрытиям Артина-

Шрайера, и кубических кривых. Мы определяем арифметическое отображения Клостермана-Хассе. Определяется и исследуется целочисленное кодирование отображений КХ на основе прямого произведения конечных равномощных разбиений интервала [0, π], и интерпретация этого кодирования точками единичного квадрата.

Напомним определения арифметического отображения на примере кубических кривых и накрытий Артина-Шрайера, с которыми связаны суммы Клостермана (библиографию и подробности см. в [5]).

Замечание. Пусть C есть плоская кубическая алгебраическая кривая вида $y^2 = f(x)$, $f(x) = x^3 + c\,x + d$ с целыми рациональными коэффициентами. В зависимости от дискриминанта кубического многочлена в правой части уравнения, кривая является особой, если дискриминант равен нулю, и не особой в противном случае. В последнем случае кривая является эллиптической.

Арифметическое отображение Клостермана-Хассе.

Пусть *Spec* $\boldsymbol{Z}$ - аффинная схема над кольцом целых чисел $\boldsymbol{Z}$, d_1 - множество точек спектра (соответствующих простым *p*), в которых $c, d \equiv 0 \pmod p$, $Sp = Spec\ \boldsymbol{Z} \setminus d_1$.

Компонента Хассе. Если C есть эллиптическая кривая E над $\boldsymbol{Z}$, то вне конечного множества простых, являющихся делителями дискриминанта, кривая E имеет хорошую редукцию в поле $\boldsymbol{F_p}$. Число точек $\#E(\boldsymbol{F_p}) = \#E_p$ кривой E при локализации по $mod\ p$ выражается формулой $\#\mathrm{E_p} = 1 + p - a_p$, где $a_p = 2\sqrt{p}\cdot cos\varphi_p$, а сама кривая E рассматривается как проективная. Если локализация C в поле $\boldsymbol{F}_p$ не есть эллиптическая кривая, то значение a_p равно 1, -1 или 0 и легко вычисляется. В обоих случаях вычисляем: $\varphi_p = \arccos\left(\frac{a_p}{2\sqrt{p}}\right)$ и приводим его к интервалу [0, π]. Углы φ_p называют углами эндоморфизма Фробениуса. Моделируется последовательность, порождаемая углами φ_p, где p пробегает последовательные простые числа. Кодирование последовательности описано ниже.

Компонента Клостермана. Пусть cd не сравнимо с нулем по $mod\ p$,

$T_p(c,d) = \sum_{x=1}^{p-1} e^{2\pi i\frac{\left(cx+\frac{d}{x}\right)}{p}}$ есть сумма Клостермана. Согласно известному результату А. Вейля, $T_p(c,d) = 2\sqrt{p}\,\cos\theta_p(c,d)$. Последовательно вычисляем T_p, $\cos\theta_p$, θ_p и приводим θ_p к интервалу [0, π]. Моделируются последовательности T_p, $\cos\theta_p$, θ_p , где p пробегает последовательные простые числа. Экспериментальное исследование распределения углов сумм Клостермана в арифметическом случае представлено в работе [3,5].

Отображение Клостермана-Хассе. Арифметическое отображение КХ определяется на произведении схем *Sp*×*Sp* со значениями в $\Pi = [0, \pi]\times[0, \pi]$ и имеет вид

$$hk(c,d) = (\varphi_p(c, d),\ \theta_p(c, d)).$$

Так как *Sp* не содержит, по построению, простых делителей cd , отображение *hk(c,d)* определено во всех точках. В проведенном экспериментальном исследовании [3,5] с суммой Клостермана $T_p = T_p(1,1)$ схема *Sp* совпадает с *Spec* $\boldsymbol{Z}$.

Кодирование. Пусть $\mathfrak{R}_1$ и $\mathfrak{R}_2$ есть два конечных разбиения одинаковой мощности d интервала $[0, \pi]$. Будем называть $\mathfrak{R}_1$ горизонтальным, а $\mathfrak{R}_2$ вертикальным разбиениями интервала $[0, \pi]$, а саму пару разбиений $(\mathfrak{R}_1, \mathfrak{R}_2)$ p-парой. Обозначим элементы разбиения целыми числами $0,1, \ldots, d-1$. Арифметическое отображение КХ кодируется бесконечной последовательностью $\ldots b_2b_1b_0.a_1a_2a_3\ldots$. Значение этой последовательности может быть интерпретировано как вещественное число (x, y) из единичного квадрата, если известным способом полагать, что $x = \sum_{i=1}^{\infty} a_i / d_i$ (соответственно, $y = \sum_{i=1}^{\infty} b_{i-1} / d_i$) есть d-ичное разложение x (соответственно, y).

Замечание. Числа $x = \sum_{i=1}^{\infty} a_i / d_i$ (соответственно, $y = \sum_{i=1}^{\infty} b_{i-1} / d_i$) естественно назвать числами Клостермана (соответственно Хассе) и поставить вопрос: каковы арифметические свойства этих чисел?

Двусторонний сдвиг. Рассмотрим арифметическое отображение КХ и заданную p-пару. Отображению $hk(c,d)$ и его кодированию посредством заданной p-пары соответствует двусторонний сдвиг

$$\sigma(\ldots b_2b_1b_0.a_1a_2a_3\ldots) = \ldots b_2b_1b_0a_1\,.a_2a_3\ldots,$$

где $a_1a_2a_3\ldots$ соответственно $b_0b_1b_2\ldots$ определены выше.

Моделирование. Проведенное компьютерное моделирование для последовательных простых чисел в интервале порядка [2,20000] и обработка результатов моделирования позволяют сделать заключение, что возможной плотностью распределения углов сумм Клостермана, является плотность распределения Сато-Тэйта, то есть что углы (гипотетически) распределены на интервале $[0, \pi]$ с плотностью $(2/\pi)\sin^2 t$.

Выводы

Арифметическое моделирование числовых последовательностей представляет активно развивающуюся область исследований. Моделирование демонстрирует схожий характер поведения функций распределения на интервале $[0, \pi]$ как углов эндоморфизма Фробениуса, так и углов сумм Клостермана. Построение новых арифметических отображений представляет как теоретический интерес, так и прикладное значение, в частности, для целей кодирования и передачи информации.

Список литературы

1. *Постников А.Г.* Избранные труды. М.: Физматлит, 2005. – С. 190-266.

2. *Glazunov N.M.* Dynamics, Coding And Entropies // Proceedings Fourth World Congress "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY", NAU, Kiev, 2010. – Vol. 1: "Safety in Aviation and Space Technologies." – P.18.39-18.42.

3. *Глазунов Н.М.* Методы обоснования арифметических гипотез и компьютерная алгебра. Программирование , №3. - 2006. – С.10-16.

4. *Глазунов Н.М., Постникова Л.П., Шор Н.З.* Арифметическое моделирование случайных процессов и эргодическая теория // Кибернетика и системный анализ. N 4. – 2004. - С.73-86.

5. *Глазунов Н.М.* О пространствах модулей, равнораспределенности, оценках и рациональных точках алгебраических кривых // Укр. мат. журнал. - 2001. т.53.- № 9.- С.1174-1183.

УДК 533.6.01

А.А. Аксенов, к.ф.-м.н., С.В. Жуктов, к.ф.-м.н., И.В. Москалев,
А.С. Шишаева, к.ф.-м.н., В.В. Шмелев (ООО "ТЕСИС", Россия)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ САМОЛЕТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOWVISION-HPC

В статье показана возможность применения программно комплекса FlowVision-HPC для решения задачи трансзвукового обтекания корпуса самолета с несущим крылом, и мотогондолой на пилоне. Обсуждаются: построение расчетной модели, сходимость решения с результатами аэротрубного эксперимента и возможность анализа аэродинамического влияния мотогондолы с пилоном на аэродинамику несущего крыла.

Расчетная модель.

Уравнения.

Математическая модель содержит уравнения Навье-Стокса, закон сохранения масс и уравнения переноса турбулентной энергии и диссипации (стандартная k-ε модель турбулентности).

Расчетная область

Паралепипед с размерами: 20 длин фюзеляжа самолета вперёд, влево, вверх и вниз, 30 длин фюзеляжа назад

Граничные условия.

Стенка: адиабатическая, пристеночные функции для U, k, εe

Внешние границы: не отражающие

Граничные параметры:

Скорость потока на бесконечности: V_{in} = 237.4 м/с

Скорость звука на бесконечности: C_{in} = 316.5 м/с

Плотность воздуха на бесконечности: ρ_{in} = 1.41 кг/ м^3

Абсолютное давление на бесконечности: P_{in} = 101325 Па

Абсолютная температура на бесконечности: T_{in} = 247.68 К°

Турбулентная энергия на бесконечности: k_{in} = 0 м^2 с$^{-2}$

Скорость диссипации турбулентной энергии на бесконечности: ε_{in} = 0 м^2 с$^{-3}$

Входные параметры :

Число Маха: M = 0.75

Число Рейнольдса, определенное по САХ: Re = 3•10^6

Угол атаки (по основной линии): α = 0 град

Расчетная сетка

Для моделирования трансзвукового обтекания корпуса самолета с несущим крылом, пилоном и мотогондолой использовалась неравномерная, сгущенная в области самолета и разреженная около внешних границ, начальная расчетная сетка. В пространстве около самолета использовалась многоуровневая (до 4-го порядка) и многослойная (до 10 слоев) адаптация по поверхности (см. рис.1).

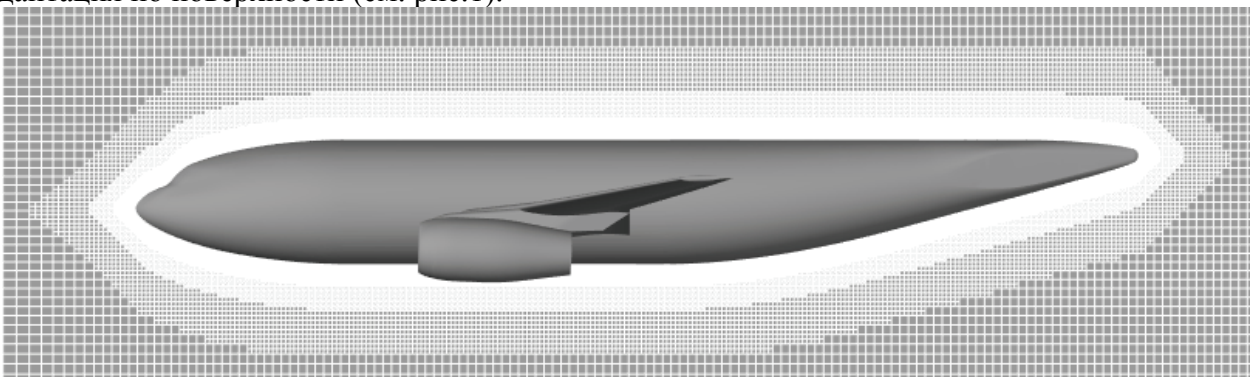


Рис.1. Расчетная сетка около фюзеляжа самолета.

Для разрешения скачка давления на крыле использовалась адаптация 4-го уровня в пространстве над верхней поверхностью по всей длине крыла.

Общая размерность расчетной сетки составила 12500000 расчетных ячеек.

Результаты расчетов.

Распределение давления и характер течения около мотогондолы.

На рис.2 приведены результаты расчета распределения давления по поверхности всей модели: корпуса, несущего крыла, пилона и мотогондолы, которые, в том числе, хорошо иллюстрируют влияние пилона на распределение давления по размаху крыла.

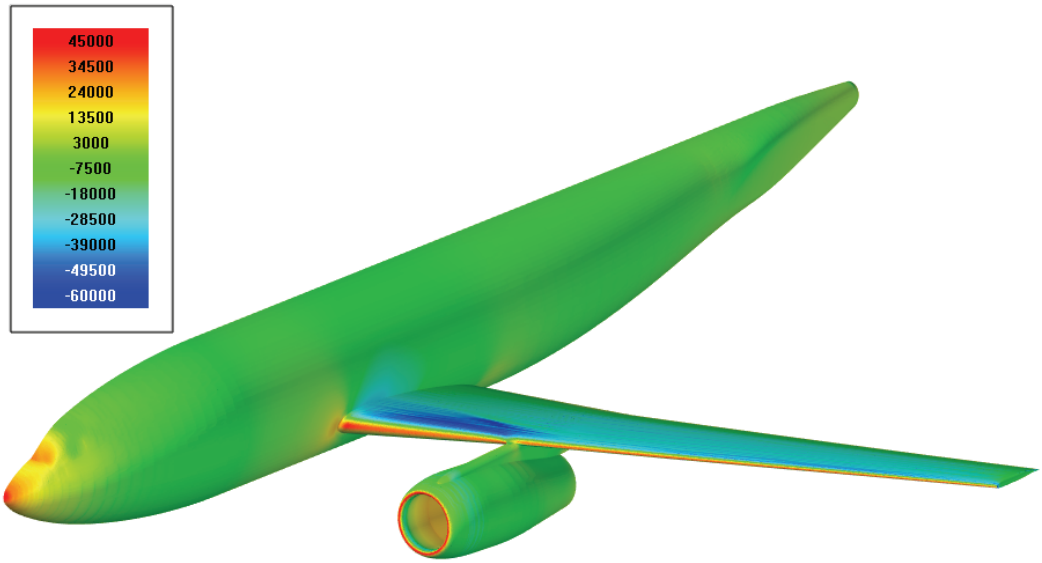


Рис.2. Распределение давления на поверхности самолета (вид спереди сверху)

На рис.3 приведены результаты расчета распределения давления по поверхности нижней поверхности несущего крыла и мотогондолы в районе ее крепления к крылу. На рис.4 с помощью линий тока показан характер течения в этой области.

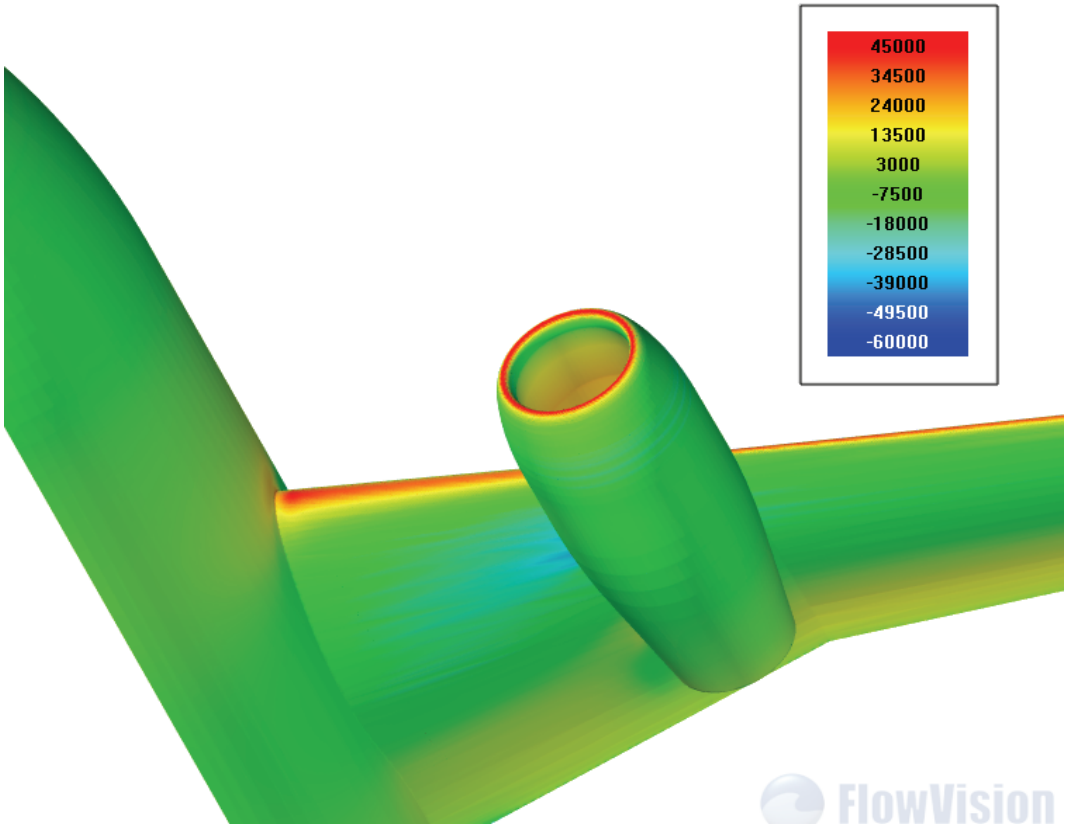


Рис.3. Распределение давления на поверхности самолета (вид спереди снизу)

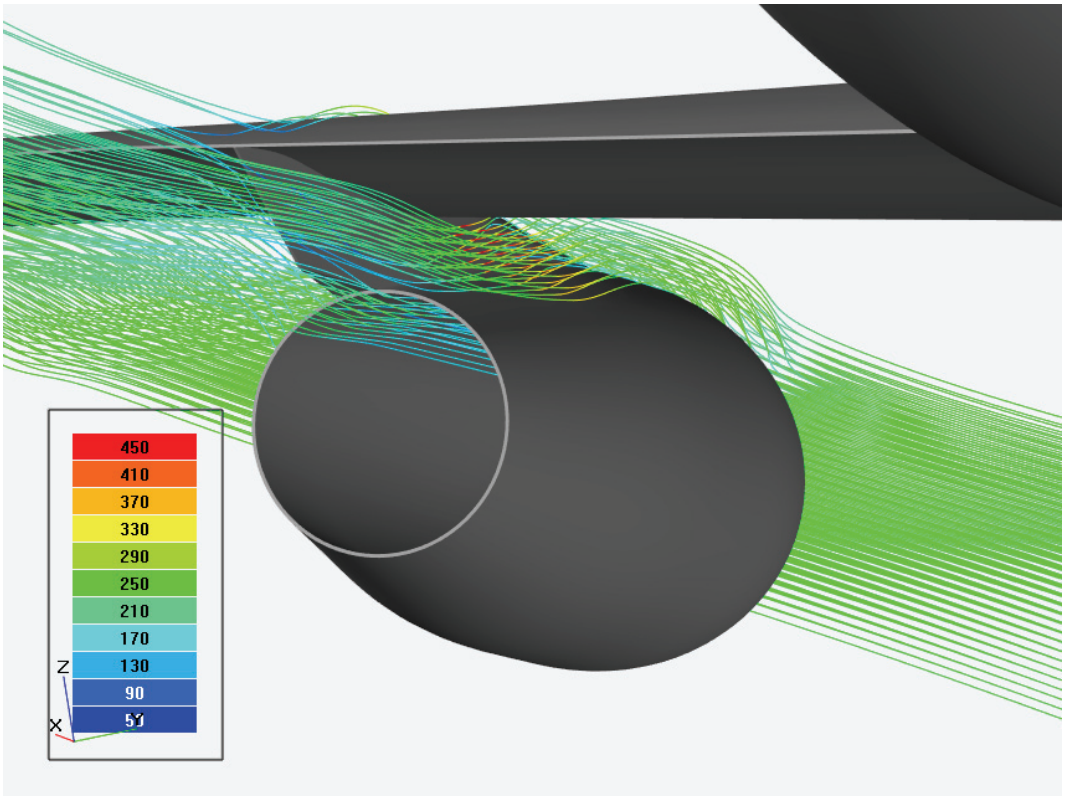


Рис.4. Линии тока в районе расположения мотогондолы (вид сзади снизу)

Распределение коэффициента давления по хорде крыла

На рис. 5 и 7 приведено распределение Cp по хорде в сечениях по размаху (2•z/l = 0.331 и 2•z/l = 0.377) близких к месту сопряжения пилона с крылом. Для сравнения на рис.6 в сечении 2•z/l = 0.331 приведено распределение Cp по хорде для крыла без пилона и мотогондолы. На всех указанных рисунках приведено сравнение расчетных значений Cp с результатами аэротрубного эксперимента [1], [2].

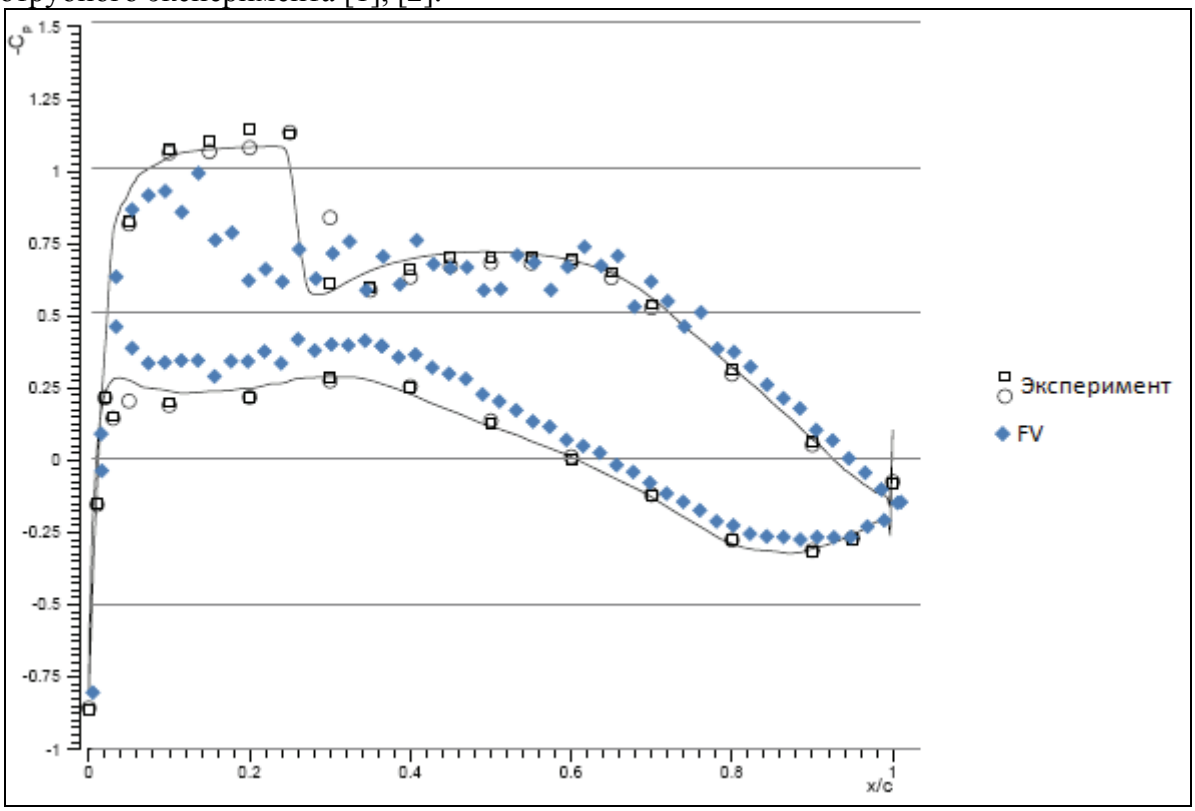


Рис. 5. Распределение Cp в сечении 2•z/l = 0.331 (перед пилоном)

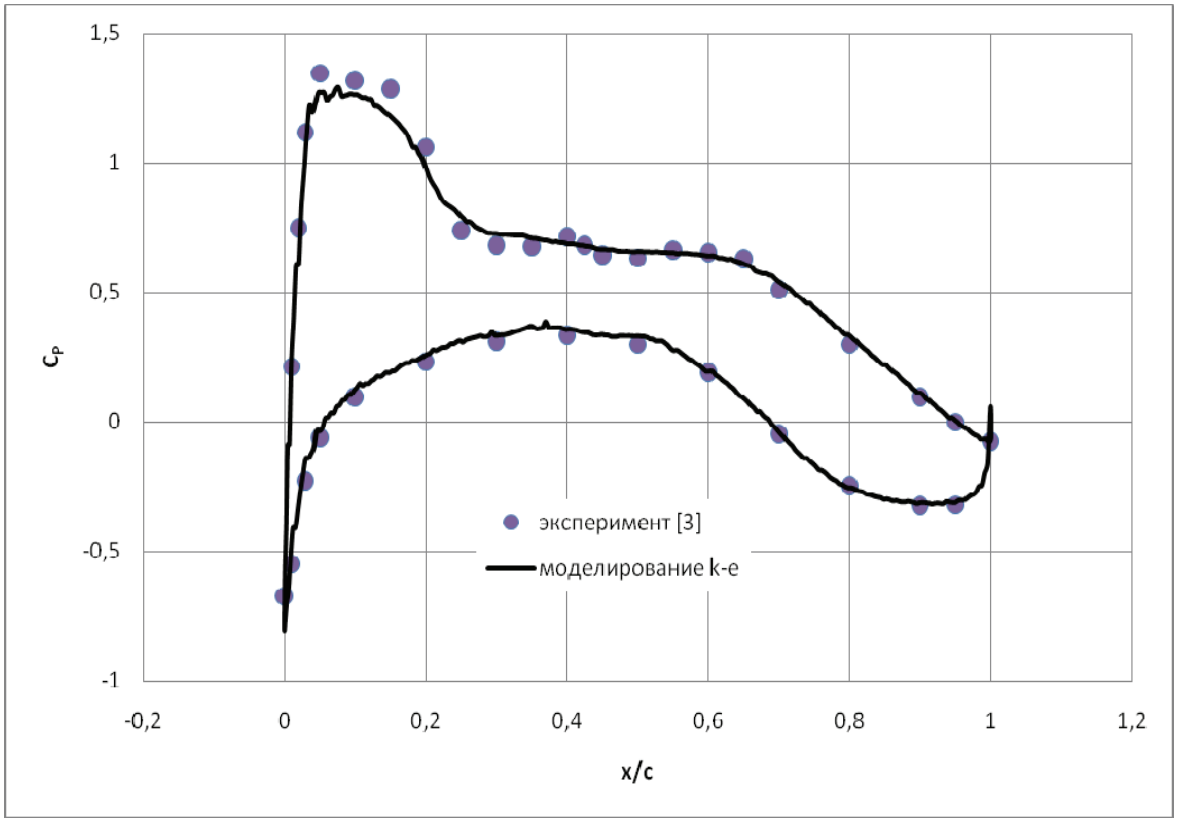


Рис.6. Распределение Ср в сечении 2•z/l = 0.331 (крыло без пилона)

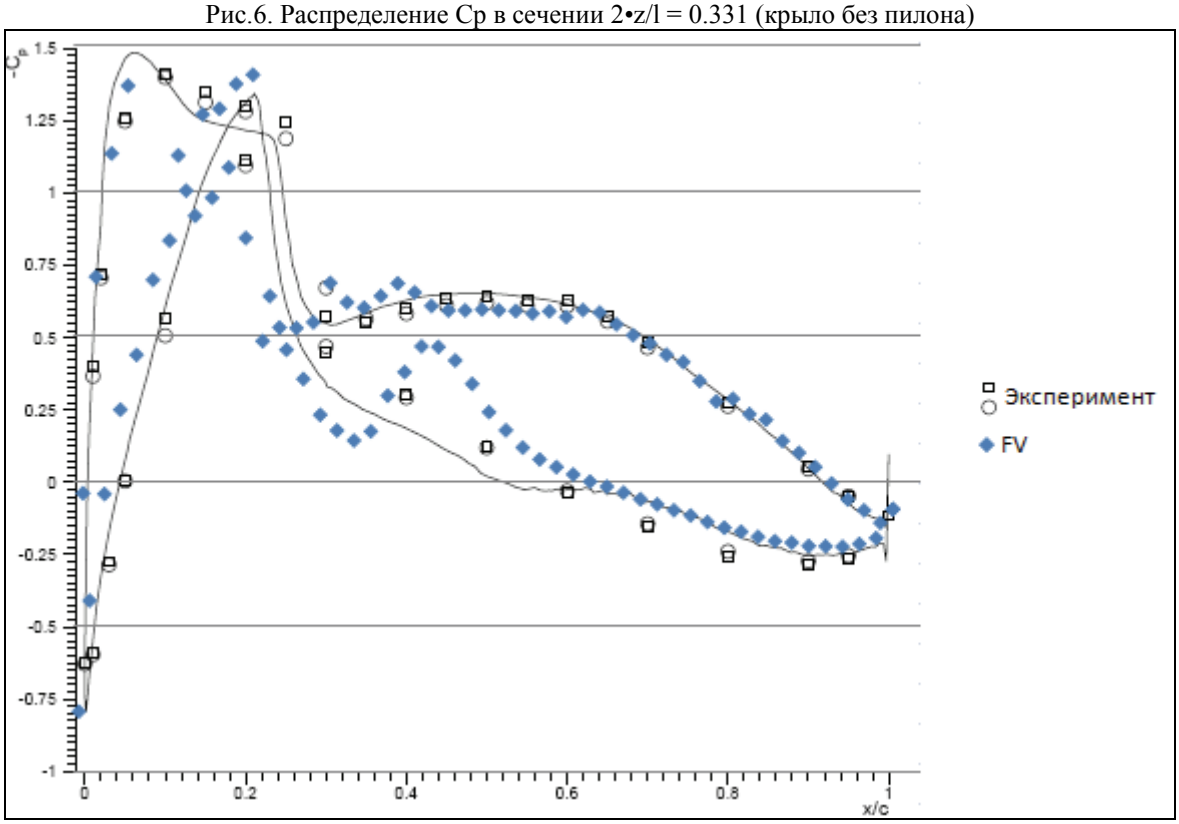


Рис.7. Распределение Ср в сечении 2•z/l = 0.377 (за пилоном)

Как видно из приведенных материалов построенная расчетная модель позволяет качественно и количественно описать характер аэродинамического взаимодействия пилона и мотогондолы с несущим крылом при удовлетворительной сходимости результатов расчета с результатами аэротрубного эксперимента.

Оценки интегральных характеристик модели DLR F6

В табл. 1 приведены полученные по результатам моделирования значения коэффициентов подъемной силы (C_{ya}) и сопротивления (C_{xa}) модели самолета в сравнении с результатами аэротрубного эксперимента [1].

Таблица 1

	FlowVision-HPC	Эксперимент	Ошибка
C_{xa}	0.035	0.03	17.7%
C_{ya}	0.39	0.40	-2%

Заключение

В целом, моделирование трансзвукового обтекания самолета в программном комплексе FlowVision-HPC позволяет не только получить результаты, удовлетворительно согласующиеся с модельным аэротрубным экспериментом, но и провести углубленный анализ аэродинамического взаимодействия отдельных элементов конструкции с несущим крылом самолета.

Список литературы

1. O. Brodersen, A.Stürmer Drag prediction of engine-airframe interference effect using unstructured Navier-Stokes calculation// AIAA 2001-2414, 19th AIAA Applied aerodynamic conference ,11-14 June 2001, Anaheim, California
2. http://aaac.larc.nasa.gov/tsab/cfdlarc/aiaa-dpw/Workshop1/workshop1.html

УДК 303.4

А.В. Касьянов, доктор технічних наук,
В.В. Пахненко, кандидат технічних наук,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВАРІАЦІЙНИЙ ПРИНЦИП ДЛЯ ДИСИПАТИВНИХ СИСТЕМ

Запропоновано перетворення неконсервативної системи до консервативного виду. Формалізм Гамільтона для дисипативних систем. Наведено кількісний приклад динаміки.

Аналітична механіка консервативних систем, динаміка яких підпорядкована рівнянням Гамільтона

$$\dot{\vec{p}}_i = -\frac{\partial H}{\partial \vec{q}_i}, \quad \dot{\vec{q}}_i = \frac{\partial H}{\partial \vec{p}_i}, (i = \overline{1,n}) \tag{1}$$

де $\vec{p}_i, \vec{q}_i$ координати та імпульси системи. *H*- гамільтоніан, розроблена досконально та озброєна довільною кількістю фундаментальних результатів. З другого боку, значно менше розроблена теорія неконсервативних систем, що описуються системою рівнянь

$$\dot{\vec{p}}_i = -\frac{\partial H}{\partial \vec{q}_i} + \vec{Q}_i, \quad \dot{\vec{q}}_i = \frac{\partial H}{\partial \vec{p}_i}, (i = \overline{1,n}) \tag{2}$$

де $\vec{Q}_i$ узагальнені сили довільного приросту $\vec{Q}_i = \vec{Q}_i(\vec{p}_i, \vec{q}_i)$.

Якщо вдається знайти таке перетворення змінних $\vec{p}_i, \vec{q}_i \to \vec{p}^*_i, \vec{q}^*_i$ (перехід з простору Г до простору Γ^*), яке приводить систему (2) формально до вигляду (1), виникає можливість використати всі надбання теорії консервативних систем для дослідження динаміки неконсервативних систем. Зрозуміло, що в загальному вигляді таке перетворення знайти не можливо; але в деяких окремих випадках визначення функції $\vec{Q}_i(\vec{p}_i, \vec{q}_i)$ означені вище перетворення існують.

1. Випадок релеєвської дисипації.

Нехай сила в'язкого опору середовища пропорційна швидкості руху матеріальній частки в першому степені. Припустимо, що $\vec{V}(\vec{q}_i(t),t)$ - швидкість руху середовища, $\vec{U}(\vec{q}_i(t),t)$ - швидкість віддачі маси, $\Pi_i(\vec{q}_i(t),t)$ - потенціал зовнішніх сил, $\Phi_{ij}\left(\left|\vec{q}_i - \vec{q}_j\right|\right)$ - потенціал парного взаємодії (нехтуємо однозначно взаємодією трьох і більшого числа часток).

Розглядається система *N* матеріальних точок, змінної маси, що рухаються в неідеальному середовище і взаємодія з середовищем підпорядкована дисипативної функції Релея [1].

$$L^* = \sum_{i=1}^{N}\left[\exp\beta\cdot\dot{\vec{q}}_i\dot{\vec{q}}_i - 2\vec{\alpha}_i\dot{\vec{q}}_i - 2m^{-1}\cdot\exp\beta\cdot\left(\Pi_i + \sum_{j=1}^{N}\Phi_{ij}\right)\right],$$

де

$$\beta(t) = \int_0^\infty \delta(t-\zeta)\int m^{-1}(\zeta)[k(\zeta) + \dot{m}(\zeta)]d\zeta d\zeta$$

$$\vec{\alpha}_i(t) = \int_0^\infty \delta(t-\zeta)\int \exp\beta(\zeta)m^{-1}(\zeta)\begin{bmatrix} k(\zeta)\vec{V}(\vec{q}_i(\zeta),\zeta) + \\ + \dot{m}(\zeta)\vec{U}(\vec{q}_i(\zeta),\zeta)\end{bmatrix}d\zeta d\zeta .$$

$\delta(t-\varsigma)$ - функція Дірака, $m(t)$ - закон відкидання маси, $K(\varsigma)$ - коефіцієнт в'язкого опору, що змінюється за часом в зв'язку із зміною розмірів частки. (Всі частки за припущенням мають однакову масу і однакову швидкість «випарування»). Нехай перехід з простору $\Gamma:(\vec{p}_i, \vec{q}_i)$ до простору $\Gamma^*:(\vec{p}^*_i, \vec{q}^*_i)$ відбувається відповідно до формул:

$$\vec{q}_i^{\,*} = \vec{q}_i;\ \vec{p}_i^{\,*} = 2m^{-1} \cdot \exp\beta \cdot \vec{p}_i - 2\vec{\alpha}_i; \tag{4}$$

Відповідні рівняння Гамільтона в цьому випадку мають вигляд:

$$\dot{\vec{p}}_i^{\,*} = -\frac{\partial H^*}{\partial \vec{q}_i^{\,*}};\ \dot{\vec{q}}_i^{\,*} = \frac{\partial H^*}{\partial \vec{p}_i^{\,*}} \tag{5}$$

де

$$H^* = 2m^{-1} \exp\beta \cdot H$$

$$H = \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{1}{2} m^{-1} \vec{p}_i \vec{p}_i + \Pi_i + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{N} \Phi_{ij} \right).$$

Оскільки система (5) виглядає формально як консервативна, всі здобутки теорії консервативних систем мають місця в просторі змінних $\vec{p}^{\,*}{}_i, \vec{q}^{\,*}{}_i$. Наприклад, інтегральний інваріант Пуанкаре - Картана існує в Γ^*

$$I = \oint_{l^*} \left(\sum_{i=1}^{N} \vec{p}_i^{\,*} \delta \vec{q}_i^{\,*} - H^* \delta t \right). \tag{6}$$

Це означає, що в «фізичному» просторі Г інваріантним є величина

$$I = \oint_{l} \left[\sum_{i=1}^{N} \left(2m^{-1} \exp\beta \cdot \vec{p}_i - 2\vec{\alpha}_i \right) \delta \vec{q}_i - 2m^{-1} \exp\beta \cdot H \delta t \right] \tag{7}$$

Фазовий об’єм в Γ^* зберігається:

$$\int dG_N^* = \int dG_{N0}^* = const \tag{8}$$

В той же час, як фазовий об'єм в Г зменшується за законом

$$\int dG_N = J_N(0) J_N^{-1}(t) \int dG_{N0}^*, \tag{9}$$

де J_N - перетворення

$$J_N = 2^{3N} m^{-3N} \cdot \exp\left(3N\beta(t)\right). \tag{10}$$

Щільність фазових точок збільшується

$$\rho_N = J_N(t) J_N^{-1}(0) \rho_{N0}. \tag{11}$$

Якщо ввести функцію розподілу

$$F\left(t, \vec{q}_1, ..., \vec{q}_N, \vec{p}_1, ..., \vec{p}_N\right) = \frac{\rho_N}{N} \tag{12}$$

та відповідно функцію розподілу

$$F^*\left(t, \vec{q}^{\,*}{}_1, ..., \vec{q}^{\,*}{}_N, \vec{p}^{\,*}{}_1, ..., \vec{p}^{\,*}{}_N\right) = \frac{\rho^*{}_N}{N}, \tag{13}$$

тоді є справедливим рівняння Ліувілля

$$\frac{\partial F^*}{\partial t} + \left(F^*, H^*\right) = 0 \tag{14}$$

де дужки в термінах Пуассона.

В просторі Γ^* існує рівняння

$$\frac{\partial S^*}{\partial t} + H^* \left(\frac{\partial S^*}{\partial \vec{q}}, \vec{q}, t \right) = 0 \tag{15}$$

В фізичному просторі рівняння Гамільтона - Якобі дисипативної системи має вид:

$$\frac{\partial S^*}{\partial t} + 2m^{-1} \exp\beta \cdot H \left[t, \vec{q}, \frac{1}{2} m \exp(-\beta) \left(\frac{\partial S^*}{\partial \vec{q}} + 2\vec{\alpha} \right) \right] = 0. \tag{16}$$

При обчисленні *H* враховується підсумовування за індексом *i*.

$$\frac{\partial S^*}{\partial \vec{q}_i} = 2m^{-1} \exp \beta \cdot \vec{p}_i - 2\vec{\alpha}_i; \quad \frac{\partial S^*}{\partial \vec{a}_i^*} = \vec{b}_i^* \tag{17}$$

де $\vec{a}_i^*, \vec{b}_i^*$ сталі вектори.

Доведено, що при використанні цього формалізму в задачах статичної механіки всі середні зберігають значення при переведенні $\Gamma \leftrightarrow \Gamma^*$.

Аналогічний формалізм можна побудувати у вигляді квадратичної функції. В цьому випадку функцію Лагранжа оберемо у вигляді [2]:

$$L = \left(f\dot{q}^2 + gq\dot{q} + rq\right)e^{\zeta q} \tag{18}$$

де *f, g, r,* ς - деякі коефіцієнти.

Перетворення $\Gamma \to \Gamma^*$ виглядає як

$$p^* = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} = \left(2f\dot{q} + gq\right)e^{\zeta q}; \;\; q^* = q \tag{19}$$

Цей результат може бути розповсюджено на багатовимірний випадок. Відповідне диференціальне рівняння руху має вид:

$$\ddot{q} + a(t)\dot{q}^2 + b(t)\dot{q} + c(t)q = w(t) \tag{20}$$

де $f = \exp\left(\int b(t)dt\right)$, $g = \int\left[r(t)\zeta + 2c(t)f(t)\right]dt$, $r = 2w(t)f(t)$.

Функція Гамільтона є

$$H^* = q.p^* - L^* = \frac{1}{4f}p^{*2}e^{-\zeta q} - \frac{g}{2f}p^*q - \left(rq - \frac{g}{4f}q^2\right)e^{\zeta q} \tag{21}$$

.

А рівняння Гамільтона має вид

$$\dot{p}^* = -\frac{\partial H^*}{\partial q}; \; \dot{q} = \frac{\partial H^*}{\partial p^*} \tag{22}$$

.

Всі результати консервативної механіки мають місце і в цьому випадку. Зокрема, отримані теореми збереження Еммі–Ньотер на підставі інваріантності і до відповідних груп перетворень збережених кількості руху, моменту кількості руху та енергії. Доведено, що у випадку квадратичної дисипації існує можливість врахування парної взаємодії часток.

2. Узагальнення принципу Гамільтона на підставі поєднання з принципом максимуму ентропії.

Принцип максимуму суб'єктивної ентропії представлений в роботах [1] , на основі якого можна отримати канонічні розподіли переваг $\pi(\sigma_i)$ на множені альтернатив $S_a : \sigma_i \in S_a$, $(i = \overline{1,n})$. Основною складовою функціонала є суб'єктивна ентропія,

$$H_\pi = -\sum_{i=1}^{N} \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i), \tag{23}$$

В цій роботі запропоновано гібридний варіаційний принцип, який дещо узагальнює принцип Ейлера –Лагранжа. Припустимо, що розглядається певна кількість критеріїв, яким відповідають функціонали

$$\bar{J}_i = \int_{t1}^{t2} F_i(t, x_i, \dot{x}_i)dt, \; i = \overline{1,N} \tag{24}$$

Цю множину критеріїв можна звести до варіаційної задачі з одним критерієм за допомогою згортання методом множників Лагранжіана λ_i, розглядаючи частину функціонала в виді ізопараметричних обмежень.

$$\bar{J}_i = K_i,$$

де K_i - фіксовані величини.

Розглядаючи функціонали $\bar{J}_i$ в більш рівноправному сенсі, зазначимо узагальнений критерій

$$J^* = \int_{t_1}^{t_2} \left(-\sum_{i=1}^{N} \pi_i \cdot \ln \pi_i \pm \beta \cdot \sum_{i=1}^{N} \pi_i \cdot L_i + \gamma \cdot \sum_{i=1}^{N} \pi_i \right) dt \tag{25}$$

В цьому функціоналі функції переваг π_i виступають як узагальнення коефіцієнтів Лагранжа. Функціонали мають усереднену миттєву ентропію переваг, а також складову, яка виникає в наслідок умови переваг

$$\sum_{i=1}^{N} \pi(\sigma_i) = 1 \tag{27}$$

Рівняння Эйлера –Лагранжа для функціонала (25) має вид:

$$\frac{\partial F_i^*}{\partial \pi_i} = 0, \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial F_i^*}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial F_i^*}{\partial x_i} = 0 \tag{28}$$

та представляють собою узагальнення відповідних рівнянь для звичайної ізопараметричної варіаційної задачі.

У суб'єктивному розумінні, її можна трактувати як варіаційну задачу з "перевагами". У більш розгорнутому вигляді рівняння (28) має вигляд

$$\frac{\partial F_i^*}{\partial \pi_i} = 0, \quad \frac{d}{dt}\left(\pi_i \cdot \frac{\partial F_i}{\partial \dot{x}_i} \right) - \pi_i \cdot \frac{\partial F_i}{\partial x_i} = 0 \tag{29}$$

У більш розгорнутому вигляді рівняння (29) має вигляд

$$\frac{\partial F_i^*}{\partial \pi_i} = -\ln \pi_i - 1 \pm \beta F_i + \gamma = 0 \tag{30}$$

та

$$\frac{d\pi_i}{dt}\frac{\partial F_i}{\partial \dot{x}_q} + \pi_i \left(\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial F_i}{\partial \dot{x}_q} \right) - \frac{\partial F_i}{\partial x_q} \right) = 0 \tag{31}$$

.

З урахуванням умови нормування з (30), отримаємо

$$\pi_i = \frac{e^{\pm \beta \cdot F_i}}{\sum_{s=1}^{N} e^{\pm \beta \cdot F_s}} \tag{32}$$

.

Підставляючи (32) в (31) знайдемо рівняння для визначення функції $x_q(t)$.

Список літератури

1. *Гельфанд И.М., Фомин С.В.* Вариационное исчисление. -М.: Физматлит, 1961.-229с.
2. *Касьнов В.А.* Субъективный анализ. - К.: из-во НАУ, 2007.-512с.
3. *Малинецкий Г.Г.* Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Изд.4 –М.: КомКнига, 2005.-312с.
4. *Стратонович Р.Л.* Теория информации. –М: сов. радио,1975.-424с.
5. *Хакен Г.* Информация и самоорганизация. – М.: Мир, 1991.-240с.

Jaynes E.T. Information Theory and Statistical Mechanics. I and II. - Phys.Rev. №2, №4,1957.

УДК:519.865

А.О. Антонова, кандидат технічних наук,
(Національний авіаційний університет, Київ, Україна)

ЧИСЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ БІЗНЕС - ЦИКЛУ ГУДВІНА

Наведено результати числового розв'язку нелінійної моделі ділового циклу з фіксованим часом запізнення в інвестиціях, запропонованого Р. Гудвіним [1]. Досліджено вплив параметрів моделі на нелінійні коливання і порівняно результатами, отриманими в [2] шляхом аналогового моделювання. Показано, що коливання Гудвіна збуджуються лише за умови, що незалежні інвестиції перевищують деяку порогову величину.

Модель бізнес-циклу Гудвіна має вигляд наступного диференціального рівняння з запізненням

$$\varepsilon \dot{y}\left(t\right) = -(1-\alpha)y\left(t\right) + \varphi\left(\dot{y}(t-\theta)\right) + A_{ni}(t)\ , \quad \dot{y} = \frac{dy}{dt}. \tag{1}$$

Тут $y(t)$ – дохід, $\varepsilon > 0$ та $\theta > 0$ – відповідно часи затримки у доході та інвестиціях, α – гранична схильність до споживання, $0 \le \alpha \le 1$, $\varphi(\dot{y})$ – інвестиції, індуковані зміною доходу, $A_{ni}(t)$ – автономні інвестиції. Функція $\varphi(\dot{y})$ задовольняє таким умовам:

$$1)\ \varphi(0) = 0\,;\ 2)\ \varphi'(\dot{y}) \ge 0 \text{ for all } \dot{y}\,;\ 3)\ \varphi'(0) = r > 0\,;\ 4)\ \lim_{\dot{y}\to+\infty}\varphi(\dot{y}) = \varphi_+,\ \lim_{\dot{y}\to-\infty}\varphi(\dot{y}) = \varphi_-,$$

r – коефіцієнт акселерації.

Гудвін не розв’язував рівняння (1). Він наближено розклав його у ряд по θ і отримав наступне нелінійне диференціальне рівняння другого порядку

$$\theta\varepsilon\ddot{y}\left(t\right) + \left(\varepsilon + s\theta\right)\dot{y} - \varphi\left(\dot{y}\right) + sy = A_{ni}(t+\theta), \tag{2}$$
$$s = 1-\alpha,\ 0 \le s \le 1.$$

Гудвін показав, що якщо виконана умова

$$r > \varepsilon + s\theta\,,$$

то рівняння.(2) за своїми властивостями близьке до рівняння Релея і має розв’язок у вигляді стійкого граничного циклу.

Взагалі кажучи процедура отримання рівняння (2), яка використана Гудвіним, не є коректною. Детальне вивчення властивостей розв’язків рівняння. (1) було проведено в [2] за допомогою аналогового комп'ютерного моделювання. Цікаво, що крім розв’язків типу граничного циклу Гудвіна в [2] було знайдено близько 25 інших граничних циклів (коливань релаксаційного типу) з малими періодами.

Ми провели числові дослідження моделі ділового циклу (1) з метою підтвердити (чи спростувати) наявність короткоперіодичних коливань, виявлених у роботі [2]. Задача формулюється наступним чином:

$$\begin{cases} \varepsilon\dot{y}\left(t\right) = -sy\left(t\right) + \varphi\left(\dot{y}(t-\theta)\right) + A_{ni}(t),\ 0 \le t \le t_f\,, \\ y(t) = \Phi(t),\ -\theta \le t \le 0, \end{cases} \tag{3}$$

де $\Phi(t)$ – початкова функція. Як і в роботах [1]-[2], функція $\varphi(\dot{y})$ вибрана у вигляді кусково-лінійної

$$\varphi = \begin{cases} \varphi_+,\ \dot{y} > \dot{y}_+, \\ r\dot{y}\left(t\right), \dot{y}_- \le \dot{y} \le \dot{y}_+, \\ \varphi_-,\ \dot{y} < \dot{y}_-. \end{cases} \qquad \dot{y}_+ = \frac{\varphi_+}{r},\ \dot{y}_+ = \frac{\varphi_+}{r},$$

Для чисельного розв’язування рівняння (1) ми використовували програму RADAR5 , наведену у [4].

Детально поведінка розв'язків рівняння (1) описана у нашій роботі [4]. Один із важливих результатів показаний на рис.1a-1c для випадку коли незалежні інвестиції сталі у часі, $A_{ni}(t) = A > 0$, а $\Phi(t) = 0, \varepsilon = 0.5, \theta = 1$ і $s = 0.4$. З них випливає, що існує порогове значення $A_{cr} \approx 1.24$. Якщо $A > A_{cr}$, то рівняння (1) має вигляд довго періодичного коливання Гудвіна, якщо ж $A < A_{cr}$, розв'язок має вигляд пилчастих коливань з періодом $T = 1$. Ці висновки справедливі і для інших значень θ: при $A > A_{cr}(\theta)$ збуджуються коливання

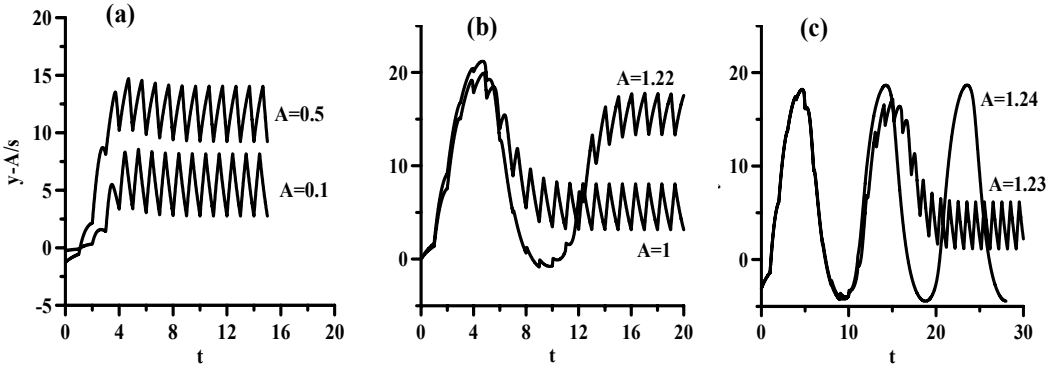


Рис.1. Розв'язки рівняння (3) при різних значеннях незалежних інвестицій A.

Гудвіна, а при $A < A_{cr}(\theta)$ – пилчасті коливання з періодом θ. Залежність $A_{cr}(\theta)$ показана на рис.2. Отже, граничний цикл Гудвіна для рівняння (1) існує лише в обмеженому діапазоні значень часу затримки θ: $\theta \le \theta_{\max}$.

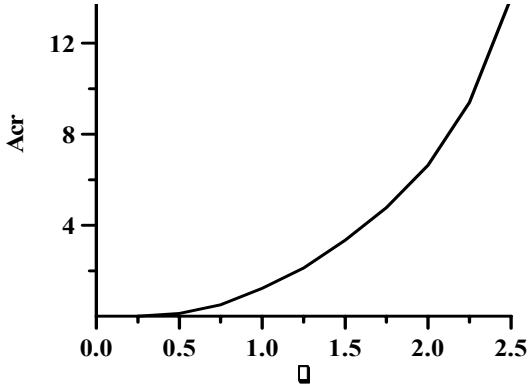


Рис. 2. Залежність $A_{cr}(\theta)$.

Ми провели також серія розрахунків з різними параметрами α, ε, r і $\varphi_+ : \varphi_-$ і вивчили їх вплив на амплітуду і період коливань Гудвіна, аналогічних до експериментів, описаних у роботі [2]. Ці параметри варіювалися відповідно до таблиці 1. У першому рядку таблиці наведені значення параметрів, які визначив Гудвін, базуючись на експериментальних даних.

Таблиця 1

	α	r	ε	θ	$\varphi_+ : \varphi_-$	y_{min}	y_{max}	амплітуда	період	
1b-5b	0.6	2	0.5	1	9:-3	-6.7 -3.2	20 20	26.7 23.2	10.04 8.12	[2] ця робота
1a	0.4	2	0.5	1	9:-3	-4.64 -2.7	13.91 13.6	18.55 16.3	8.11 6.97	[2] ця робота
1c	0.733	2	0.5	1	9:-3	-9.7 -3.0	29.11 29.6	38.81 32.6	12.97 9.61	[2] ця робота
2a	0.6	1.58	0.5	1	9:-3	-6.5 -2.8	19.52 17.0	26.02 19.8	9.6 8.04	[2] ця робота
2c	0.6	8.42	0.5	1	9:-3	-7.3 -9.0	21.91 27.8	29.21 36.8	13.04 8.43	[2] ця робота
3a	0.6	2	0.349	1	9:-3	-7.1 -5.3	21.29 23.3	28.39 28.5	8.74 7.21	[2] ця робота

3c	0.6	2	0.802	1	9:-3	-5.88 -1	17.64 15.2	23.52 16.2	12.18 9.53	[2] ця робота
4a	0.6	2	0.5	0.5	9:-3	-6.34 -1	19.03 19.2	25.37 20.2	7.93 10.66	[2] ця робота
4c	0.6	2	0.5	1.5	9:-3	-6.96 -3.8	20.87 21.5	27.83 25.3	12.16 7.05	[2] ця робота
5a	0.6	2	0.5	1	6:-3	-6.7 -2.	13.41 10	20.11 12	9.71 7.86	[2] ця робота
5c	0.6	2	0.5	1	15:-3	-6.7 -3.5	33.52 41.5	40.22 45.0	10.66 8.62	[2] ця робота

Наші результати в основному якісно підтверджують висновки, зроблені у роботі [3], відносно впливу параметрів на амплітуду коливань ($y_{\max} - y_{\min}$) . Вона особливо чутлива до змін α, ε та $\varphi_+ : \varphi_-$ (див. Таблицю 1). Однак, деякі наші результати, наприклад, для випадків 4a-4c, 5a-5c суперечать результатам роботи [2]. На нашу думку помилковим є висновок [3] про те, що період граничного циклу зменшується при зростанні θ.

Наші розрахунки [3], показали, що пилчасті коливань з періодами $\frac{\theta}{2}, \frac{\theta}{3}, \ldots$, описані в [2], можна отримати спеціальному виборі початкової функції. Рис. 3a-3d ілюструють приклади коливань, які мають місце, коли початкова функція вибирається у вигляді

$$\Phi_n(t) = \cos\frac{2\pi nt}{\theta}, \quad \dot{\Phi}_n(t) = -\frac{2\pi n}{\theta}\sin\frac{2\pi nt}{\theta}, \ n = 1, 2, \ldots$$

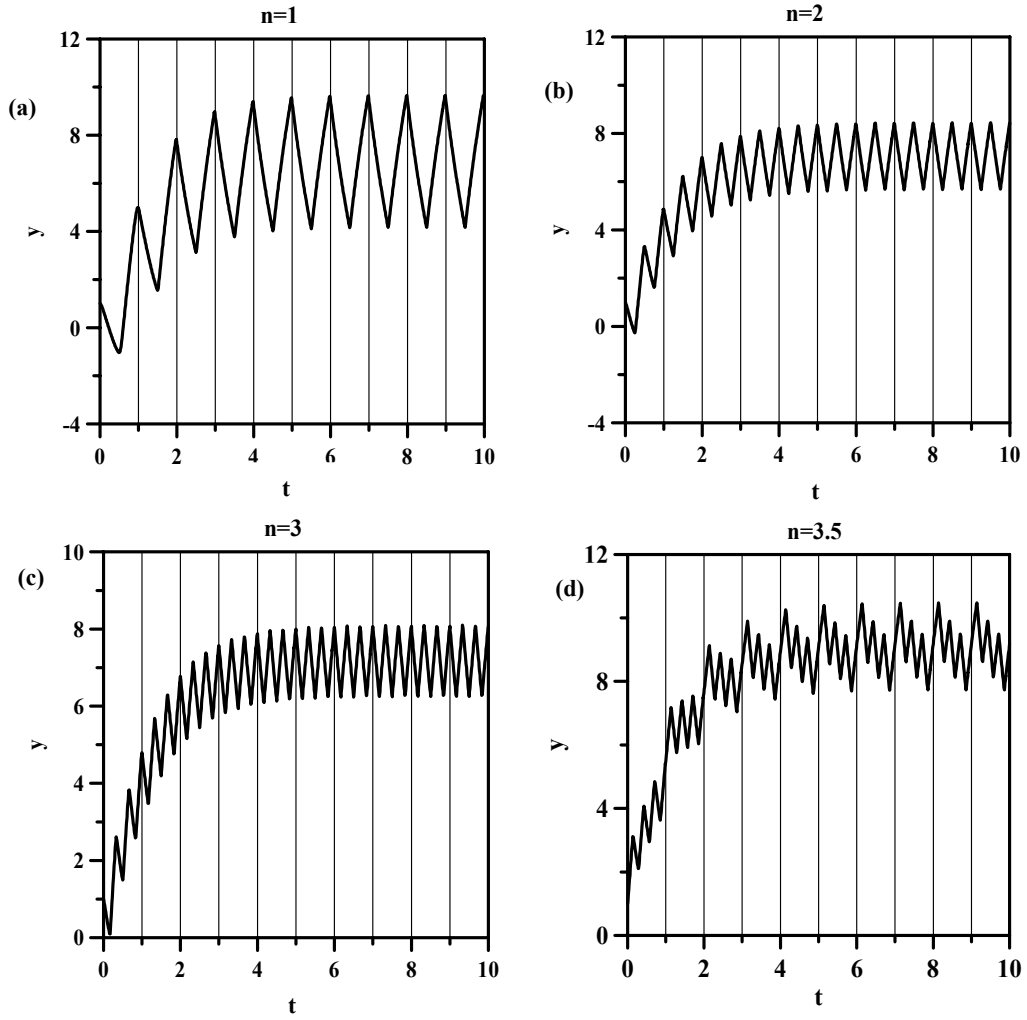


Рис.3. Короткоперіодичні пилчасті коливання з періодами $T = 1$ (a) , $T = 1/2$ (b), $T = 1/3$ (c), подвійно-періодичний розв'язок (d); $\theta = 1$ і $A_{ni} = 0$.

Висновки

Найбільш важливі висновки цієї роботи полягають у наступному. Ми підтвердили чисельно результати аналогового комп'ютерного моделювання [2] і можливість існування короткоперіодичних пилчастих коливань. Ми показали, що збудження коливань Гудвіна має пороговий характер. Досліджено вплив параметрів задачі на амплітуду і період граничного циклу Гудвіна.

Список літератури

1. *Goodwin R. M*. The Nonlinear Accelerator and the Persistence of Business Cycles // Econometrica, 1951, v.19. – P.1-17.

2. *Strotz R. H., McAnulty J.C., Naines J.B.* Goodwin's Nonlinear Theory of Business Cycle: an Electro-Analog Solution // Econometrica, 1953, v.21, – P.390-411.

3. *Antonova A.O., Reznik S.N., Todorov M.D.* Analysis of Types of Oscillations in Goodwin's Model of Business Cycle // American Institute of Physics Conference Proceedings, 2011, v.1301. – P.188-195.

4. *Guglielmi N., Hairer E.* Users' Guide for the Code RADAR5 - Version 2.1 //http://www.unige.ch /~hairer/software.html, 2005.

УДК 532.526.4

Є.О. Шквар, кандидат технічних наук, Т.В. Козлова, кандидат технічних наук,
(Національний авіаційний університет, Україна)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ТУРБУЛЕНТНИХ ТЕЧІЙ В ЕЛЕМЕНТАХ ПОВЕРХНЕВОГО РЕЛЬЄФУ

Розглядається ефективний та економічний метод моделювання турбулентних примежових шарів над профільованими поверхнями. Сформульована задача спряження розв'язків у пристінній підобласті просторової течії та плоскої течії у зовнішній підобласті, визначені особливості модельних представлень вихідних рівнянь та моделі турбулентності. Приклади демонструють відтворення розрахунками характеристик основної та вторинних течій.

Моделювання ефектів взаємодії течій з обтічними поверхнями є вкрай важливим для визначення опору тертя. Відомо, що негладкі поверхні у деяких випадках при обтіканні демонструють дещо аномальний результат, який полягає в зменшенні тертя до 5-7%. Відомо, що шкіра риб, вкрита лускою регулярної структури, окрім захисних функцій сприяє також і зменшенню тертя. Найбільш показовою у цьому розумінні є шкіра акули, вкрита регулярними геометричними структурами зубоподібної форми, в зв'язку з чим вони і отримали назву зубчиків (denticles). Багаточисельні експериментальні дослідження мікропрофільованих поверхонь наочно переконують у існуванні можливості відтворити цей ефект в технічних об'єктах шляхом штучного профілювання поверхні в напрямку переважаючого розвитку течії [1].

Метою даного дослідження є висвітлення результатів по математичному відтворенню характеристик течії в елементах поперечного рельєфу обтічних поверхонь з метою як з'ясування її структурних особливостей, так і перевірки спроможності моделі до відтворення визначальних рис, притаманних турбулентним течіям біля профільованих поверхонь. Найсуттєвішою проблемою на цьому шляху є той факт, що навіть у випадку плоского примежового шару над профільованою поверхнею, течія поблизу неї набуває просторовості. Висота області просторового розвитку течії, як слідує з експериментальних даних [2], не перевищує 2-2.5 висот оребрення, враховуючи і саму висоту борозенок при значних висотах ($h = 10 - 60$ мм), тоді як при менших висотах $h = 2.2$ мм [3] вона може бути оцінена за наведеними ілюстраціями результатів вимірювань розподілів ізотах поздовжньої компоненти швидкості в поперечному перерізі течії в 1.5-2 висоти оребрення, тобто має тенденцію до зменшення. Реальні висоти рифлення, при яких досягається ефект зменшення тертя $h = 0.5 - 1$ мм ($h^+ = 10 - 25$) [2, 3], висувають при зазначених вище оцінках досить суттєві вимоги до роздільної здатності різницевої сітки поблизу поверхневого рельєфу при необхідності виконання розрахунку для усього примежового шару, який є плоским на переважній частині своєї товщини за винятком зазначеної пристінної області. Крім того, різницева сітка поблизу поверхні мусить бути якомога краще адаптована до поперечного профілю її рельєфу. Зазначені особливості обумовлюють неефективність просторової постановки задачі у криволінійній системі координат для усієї розрахункової області, яка мусить за розмірами дещо перевищувати товщину примежового шару.

Більш ефективним рішенням є штучний поділ усієї товщини розрахункової області паралельною до обтічної поверхні площиною на дві підобласті (пристінну та зовнішню) і постановка задачі спряження розв'язків у кожній з них (рис. 1). При цьому характеристики **просторового** руху у **пристінній пілобласті** визначаються розв'язанням рівнянь параболізованої системи рівнянь [4] для кожної зі складових узагальненої змінної $\varphi = \{u, \upsilon, w, \Omega_x, k, \varepsilon\}$ і просторової версії моделі турбулентності

$$-\overline{u'\upsilon'} = \nu_t\left(\frac{\partial \overline{u}}{\partial \overline{y}} + \frac{\partial \overline{\upsilon}}{\partial \overline{x}}\right), \quad -\overline{u'w'} = \nu_t\left(\frac{\partial \overline{u}}{\partial \overline{z}} + \frac{\partial \overline{w}}{\partial \overline{x}}\right),$$

$$-\overline{\upsilon' w'} = -\frac{C_3}{C_\mu}\frac{\nu_t}{\bar{k}}\left(\overline{u'\upsilon'}\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}} + \overline{u' w'}\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{y}}\right), \quad \overline{\upsilon'} - \overline{w'} = \frac{2C_3}{C_\mu}\frac{\nu_t}{\bar{k}}\left(\overline{u'\upsilon'}\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{y}} - \overline{u' w'}\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}}\right). \qquad (1)$$

Тут u, υ, w – компоненти швидкості вздовж осей (x, y, z), $\Omega_x = w'_y - \upsilon'_z$ – поздовжня складова завихреності; k – кінетична енергія турбулентності та ε – швидкість її дисипації, $C_3 = 2(4C_2 - 1)/11C_1$, $C_1 = 1.5$, $C_2 = 0.3$. Представлена модифікація розробленої моделі наслідує з алгебраїчної моделі переносу рейнольдсових напружень структуру взаємозв'язків між компонентами їх тензора $-\overline{\upsilon' w'}$ та $\overline{\upsilon'} - \overline{w'}$ від $-\overline{u'\upsilon'}$ та $-\overline{u' w'}$. Коефіцієнт турбулентної в'язкості ν_t визначається просторовою модифікацією моделі Мовчана В.Т. [5], що пропонується авторами у наступному вигляді:

$$\nu_t = \nu_{t\ out}\tanh(\nu_{t\ in}/\nu_{t\ out}), \qquad \nu_{t\ in} = l\upsilon_{*3D}, \qquad l = \kappa d_{3D}\sqrt{\bar{\tau}}D_m,$$

$$D_m = \tanh\frac{\sinh^2[\chi_1 l^+_{3D}\sqrt{\bar{\tau}}]\tanh[\sinh^2(\chi_2 l^+_{3D}\sqrt{\bar{\tau}})]}{\kappa l^+_{3D}\sqrt{\bar{\tau}}}, \ l^+_{3D} = \frac{l_{3D}\upsilon_{*3D}}{\nu}, \ \nu_{t\,out} = C_\mu k^2/\varepsilon, \ (2)$$

де модельні коефіцієнти визначаються сталими значеннями з наступних інтервалів $\kappa = 0.37 - 0.45$, $\chi_1 = 0.068 - 0.072$, $\chi_2 = 0.223$, $C_\mu = 0.09$. Визначення зазначених в (2) просторових масштабів поблизу різних елементів обтічної поверхні з урахуванням можливої взаємодії суттєво залежить від геометричної конфігурації останньої. Наприклад, у випадку течії вздовж ребра прямокутного двогранного кута запропоновані до використання наступні співвідношення:

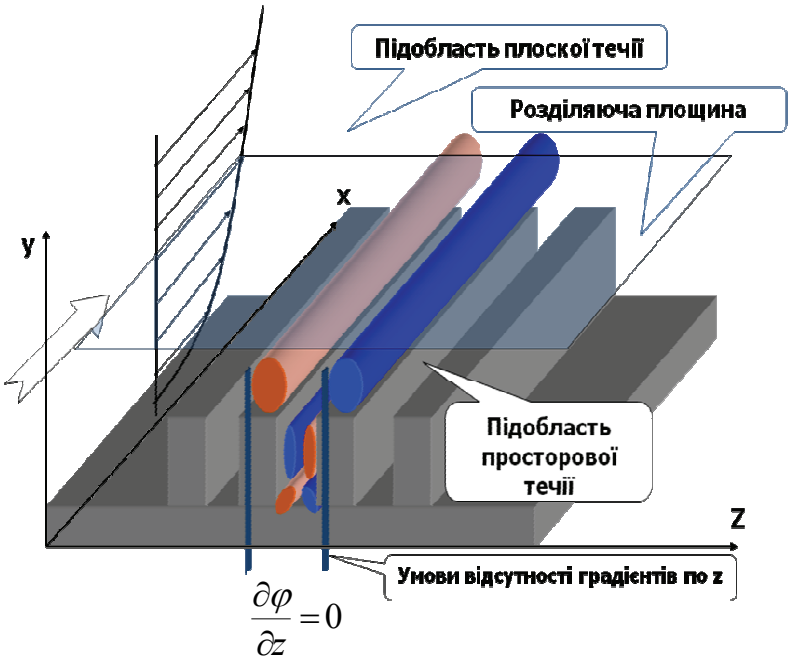


Рис. 1. Схема постановки задачі спряження з метою моделювання течій над профільованою поверхнею

$$l_{3D} = \left(y^{-1} + z^{-1}\right)^{-1} \qquad (3)$$

– для лінійного масштабу, де y, z – відповідно відстані до кожної з граней;

$$\upsilon_{*3D} = \sqrt{\tau_\Sigma/\rho} = \sqrt[4]{(-\overline{u'\upsilon'})^2 + (-\overline{u' w'})^2} = \sqrt[4]{\upsilon^4_{*y} + \upsilon^4_{*z}} \qquad (4)$$

– для масштабу швидкості, де

$$\upsilon_{*y} = \sqrt{-\overline{u'\upsilon'}}, \quad \upsilon_{*z} = \sqrt{-\overline{u' w'}}.$$

Натомість, у **зовнішній підобласті** течії моделюється **двовимірний** рух шляхом розв'язування рівнянь плоского примежового шару для узагальненої змінної $\varphi = \{u, \upsilon, k, \varepsilon\}$ та двовимірної версії моделі турбулентності [5]. Поточні розв'язки в обох областях зрощуються на розділяючій площині (рис. 1). У пристінній підобласті будується просторова сітка, адаптована до форми профілю рельєфу у площині, перпендикулярній поздовжній маршовій координаті x. За умови використання декартових координат застосовується дискретизація за геометричною прогресією, у випадку доцільності побудови криволінійної сітки – метод Томпсона. У останньому випадку використовуються рівняння, записані в криволінійних

координатах. При використанні схем третього порядку точності QUICK чи ISNAS застосовуються відповідні коригування центрально-різницевої чи гібридної схем.

Постановка задачі спряження передбачає модифікацію межових умов. Для пристінної підобласті межові умови параболізованої постановки задачі модифікуються лише на її зовнішній межі $y_1 = y_{sep}$, тобто на розділяючій площині. На цій самій площині, яка є внутрішньою межею для задачі параболічного наближення, зазнають змін межові умови прилипання, типові для обтічної поверхні. Ці зміни полягають у спряженні розв'язків на спільній межі двох підобластей та умові відсутності рухів у напрямку осі z, а саме:

$$\overline{u}\big|_{y=y_{sep}-0} = \overline{u}\big|_{y=y_{sep}+0};\quad \overline{\upsilon}\big|_{y=y_{sep}-0} = \overline{\upsilon}\big|_{y=y_{sep}+0};\quad \overline{k}\big|_{y=y_{sep}-0} = \overline{k}\big|_{y=y_{sep}+0};$$

$$\overline{\varepsilon}\big|_{y=y_{sep}-0} = \overline{\varepsilon}\big|_{y=y_{sep}+0};\ ;\ \overline{w}\big|_{y=y_{sep}-0} = \overline{\Omega}_x\big|_{y=y_{sep}-0} = 0. \qquad (5)$$

У остаточному вигляді задача полягає в побудові на кожному кроці вздовж маршової координати x ітераційного процесу відшукання розв'язку рівнянь пристінної та зовнішньої підобластей разом з відповідними типовими для них межовими умовами зі змінами відповідно до (5). Незважаючи на застосування безітераційних схем для рівнянь плоского примежового шару, результати розрахунків після наперед заданої кількості ітерацій (від 5 до 10) різницевих рівнянь у пристінній підобласті узгоджуються згідно (5). Вихід з ітераційного процесу на кожному поточному кроці ($n+1$) відбувається при виконанні на ітерації k умови $\left|\left((\overline{\varphi}^{n+1})_k - (\overline{\varphi}^{n+1})_{k-1}\right)/(\overline{\varphi}^{n+1})_{k-1}\right| < 10^{-4}$ в обох підобластях одночасно, після чого здійснюється перехід до наступного кроку вздовж маршового напрямку x.

Сформульована вище задача є комплексною і успіх її розв'язання залежить від правильного відтворення її складовими найсуттєвіших особливостей взаємодії потоку та обтічної поверхні, обумовлених геометрією рельєфу та режимними параметрами формування течії. Однією з найважливіших відмінностей є різниця у визначальних масштабах пристінного руху. Так, у пристінній підобласті характерні масштаби "закону стінки" l_{3D} та υ_{*3D} визначаються з урахуванням взаємодії між суміжними поверхнями обтікання, що формують рельєф борозенки через суперпозиції відстаней від кожної з цих поверхонь до розрахункового вузла, а також відповідних локальних динамічних швидкостей. У зовнішній підобласті в ролі цих масштабів фігурують відстань y від розрахункового вузла до площини обтічної поверхні без урахування особливостей її рельєфу, а також осереднена по довжині однієї борозенки s вздовж поперечної координати z динамічна швидкість $\upsilon_* = s^{-1}\int_0^s \upsilon_{*3D}(z)\big|_{y=y_{sep}} dz$.

Турбулентна течія в кутовій конфігурації. З метою тестування спроможності розробленої моделі (1-4) разом з відповідним методом розрахунку до відтворення вторинних течій, характерних для обтікання типових кутових конфігурацій двох поверхонь у напрямку ребра їх перетину (рис. 2), проведено тестування розрахунком течії вздовж каналу квадратного поперечного перерізу. Розрахунок розпочинався зі вхідного перерізу, де задавалися рівномірні профілі $U(y,z) = U_\infty$, $k(y,z) = k_o = (0.005 \div 0.01)U_\infty^2$, $\varepsilon_o = (10 \div 100)C_\mu k_o^2$. На стінках $y = 0$ та $z = 0$ задавалися умови прилипання $\overline{u} = 0$, $\overline{\upsilon} = 0$, $\overline{w} = 0$ та $k = k_{**}$, $\overline{\varepsilon} = \overline{\varepsilon}_{**}$ згідно $k_{**} = \upsilon_*^2/\sqrt{C_\mu}$, $\varepsilon_{**} = \upsilon_*^3/(\kappa y_{**})$, $\nu_{t\,**} = C_\mu k_{**}^2/\varepsilon_{**} = \upsilon_*\kappa y_{**}$, $y_{**} = (10-70)\nu/\upsilon_*$. У площинах симетрії каналу $y = 1$

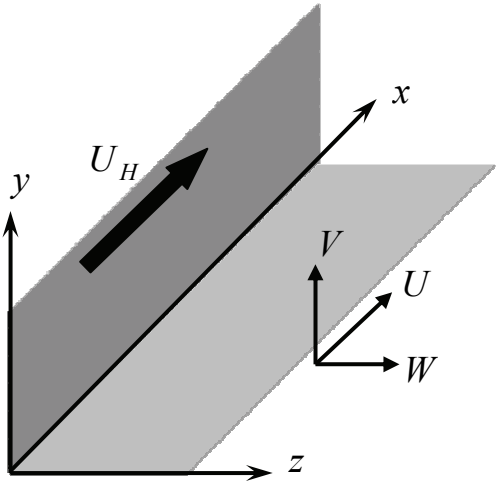


Рис. 2. Декартова система координат (x, y, z) та відповідні компоненти швидкості (U,V,W) для моделювання течій з переважаючим напрямком розвитку

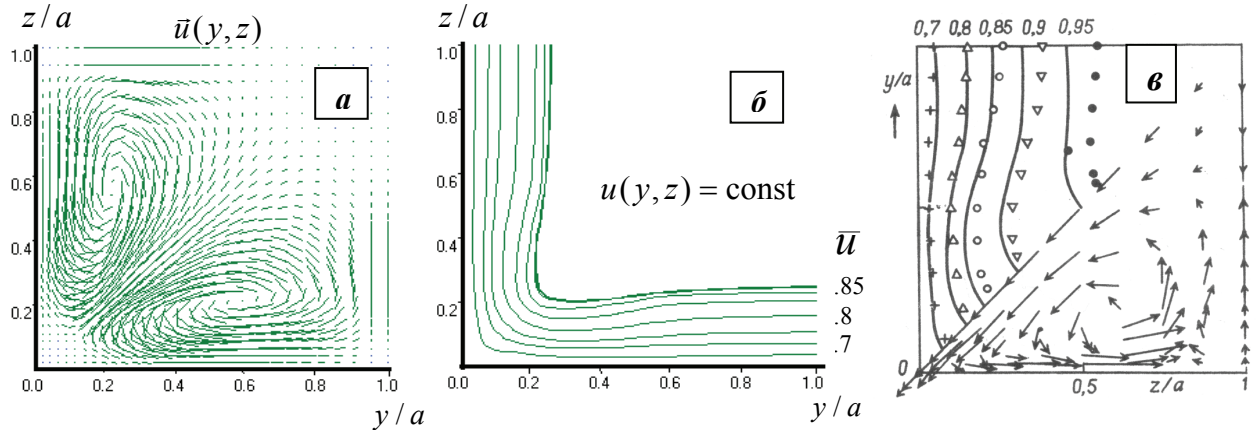


Рис. 3. Розрахунок течії в каналі квадратного перерізу. Завдяки симетрії зображено лише лівий нижній квадрант. ***а*** – результати відтворення системи вторинних вихорів течій; ***б*** – розрахунок ізотах поздовжньої швидкості; ***в*** – результати розрахунків [4] (лінії) у порівнянні з експериментальними результатами [11] (точки, вектори)

та $z = 1$ задано $u'_y = w'_y = k'_y = \varepsilon'_y = 0$, $\upsilon = 0$ та $u'_z = \upsilon'_z = k'_z = \varepsilon'_z = 0$, $w = 0$ відповідно. Розрахунок відтворював умови проведення експерименту Gessner F.B., Po J.K., Emeri A.F. [6], $U_\infty \approx 15$ м/с, повітря, півширина каналу $a = 0.127$ м. Результати відповідних розрахунків на основній ділянці формування течії $x/(2a) = 84$ у порівнянні як з результатами зазначених експериментів, так і з результатами розрахунків [4] свідчать про відповідність розрахованої системи симетричних вторинних течій із закруткою до ребра кута вздовж його бісектриси (рис. 3-а) та обумовленого цим вихровим рухом характерного вигину ізотах $\bar{u}(y,z)$ (рис. 3-б) експериментальним даним [6] та розрахункам [4] (рис. 3-в). Отриманий результат впевнює в коректності розробленого методу по відношенню до розглянутої класичної тестової задачі.

Висновки

Підсумовуючи проведений аналіз та отримані результати, можна зробити висновок, що розроблена гібридна математична модель та відповідний розрахунковий метод відтворюють ефекти взаємного впливу граней борозенок поздовжнього профілювання обтічної поверхні на формування турбулентної зсувної течії і, зокрема, вторинних течій в заглибленнях профілю рельєфу несуперечливо до відомих експериментальних даних та з належною мірою деталізації відтворення визначальних характеристик течії.

Список літератури

1.Уменьшение турбулентного трения с помощью риблетов (по материалам открытой иностранной печати) // Обзор ЦАГИ № 259. – М.: ЦАГИ, 1991. – 38 с.

2.Okamoto S. Effect of Riblet Shape on Turbulent Drag Reduction / S. Okamoto, T. Uchida, T. Yoneyama, K. TakiGuchi, S. Kimura // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. – 2000–02. – B 66(642). – P. 60–68.

3.*Suzuki Y.* Turbulent Drag Reduction Mechanism above a Riblet Surface / Y. Suzuki, N. Kasagi // AIAA Journal. – September, 1994. – Vol. 32, № 9. – P. 1781–1790.

4.*Арналь А.* Численное исследование течений вдоль двугранного угла / А. Арналь, Ж. Кустей // Трехмерные турбулентные пограничные слои; под ред. Х. Фернхольца, Е. Краузе. – М.: Мир. – 1985. – С. 331–343.

4.*Мовчан В.Т.* Різнорівневі математичні моделі коефіцієнта турбулентної в'язкості / В.Т. Мовчан, Є.О. Шквар // Прикладная гидромеханика. – 2010. – Т.12, № 1. – С. 55–67.

5.*Gessner F.B.* Measurement of developing turbulent flow in a square duct / F.B. Gessner, J.K. Po, A.F. Emeri // Proc. of the Symp. On Turbulent Shear Flows, Univ. Park, Pensylvania, April 18-20, 1077

УДК 532.5

Павел В. Лукьянов, к.ф.-м.н.
(Институт гидромеханики НАН Украины, Украина)

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ КВАЗИТОЧЕЧНОГО ВИХРЯ В ЗАДАЧЕ О ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ОБТЕКАНИИ ЦИЛИНДРА.

Классическое решение задачи о циркуляционном обтекании цилиндра использует модель точечного вихря. Как известно, поле скорости такого вихря – не компактно и простирается до бесконечности, а кинетическая энергия – бесконечна, что противоречит закону сохранения энергии. Предлагается асимптотика дальнего поля с заменой точечного вихря на квазиточечный компенсированный вихрь конечных размеров.

Постановка задачи. Требуется определить поле скорости при обтекании кругового цилиндра, не выходя из множества компактных вихрей.

Идея решения. Использовать модель квазиточечного вихря [1] (или компактного компенсированного вихря):

$$V_\theta = \frac{\Gamma}{2\pi r}\left(1-\left(\frac{r-a}{R-a}\right)^2\right). \qquad (1)$$

Вихревая добавка к потенциальному течению становится существенной, когда:

$\left(\frac{r-a}{R-a}\right)^2 : O(1)$, то есть $\frac{r-a}{R-a} : \frac{1}{3}$ (порядка 10%).

Откуда находим:

$$r = a + \frac{R-a}{3} = \frac{2a+R}{3}.$$

Например, если $R = 4a$, то уже при $r^* = \frac{2a+4a}{3} = 2a$ можно заменять точечный вихрь на квазиточечный. Если же положить $R = 10a$, то $r^* = \frac{12a}{3} = 4a$.

Чтобы показать, что так введенный вихрь является решением уравнения Эйлера, достаточно перейти в прямоугольную Декартову систему координат, где легко это сделать. Ранее эта процедура уже проводилась автором данной работы в задаче о взаимодействии вихря со сдвиговым течением.

Возникает логичный вопрос об определении радиуса вихря R. Размер вихря необходимо находить из экспериментальных данных. Это минимальное значение радиальной координаты, где течение уже становится однородным: $V = V_\infty$. И подставлять в формулу (1). При значениях радиальной координаты, больших радиуса вихря, последний отсутствует.

Почему возможно такое представление. Так как в формуле

$$\bar{V} = |V_\infty|\left(1-\frac{a^2}{z^2}\right), \qquad (2)$$

которая описывает безциркуляционное обтекание цилиндра [2], с увеличением z (по модулю) $\bar{V} \to |V_\infty|$ по квадратичному закону. Уже при $|z| = r = 5a$ получаем:

$$\bar{V} = |V_\infty|\left(1-\frac{1}{25}\right) = 0.96|V_\infty|,$$

то есть точность 4%. При этом, для $r = 5a$:

$\left(1-\left(\frac{5a-a}{R-a}\right)^2\right)=\left(1-\left(\frac{4a}{R-a}\right)^2\right)$, то есть при $R=10a$ получается:

$$\left(1-\left(\frac{4}{9}\right)^2\right)=\left(1-\frac{16}{81}\right)=\frac{65}{81}\approx 0.8$$

Следовательно, если безциркуляционное течение отличается от течения на бесконечности на 4%, то добавка к точечному вихрю составляет, при этом, порядка 20%. Что существенно. Поэтому в области $r\geq 5a$ можно положить:

$$V\approx V_\infty+\frac{\Gamma}{2\pi r}\left(1-\left(\frac{r-a}{R^*-a}\right)^2\right),\quad 5a\leq r\leq R^*. \tag{3}$$

В формуле (3) $R^*=10a$. А при $r\geq R^*$ вращение отсутствует: $V=V_\infty$.

Таким образом, предложена простая модель, которая позволяет приближенно описывать дальнее поле скорости вокруг круглого цилиндра при его обтекании невязкой несжимаемой жидкостью.

[1]. *Лук'янов П.В.* Квазіточковий вихор. Наукові вісті НТТУ КПІ, 2011, № 4 (78) (в печати).

[2]. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. -- М.: Наука, 1987. – 840 с.

УДК 532.5

Павел В. Лукьянов, к.ф.-м.н.
(Институт гидромеханики НАН Украины, Украина)

ИНЕРЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ОДНОМЕРНОГО КОЛОННООБРАЗНОГО ВИХРЯ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

На примере колоннообразного вертолётного вихря показано, что инерционная устойчивость может описываться аналогией Релея между устойчивостью стратифицированной жидкости и одномерным вращением жидкости. Для вязкой жидкости циркуляция не сохраняется вдоль линий тока, а циклострофический баланс остается. Поэтому, согласно Рэлею, за устойчивость отвечает ускорение.

Рассмотрим движение в виде колоннообразного вихря: $V_r = 0,\ V_z = 0, V_\theta = V_\theta(r,t).$ При отсутствии радиальной и вертикальной компонент скорости движение описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} -\dfrac{V_\theta^2}{r} = -\dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial p}{\partial r}, & (1) \\ \dfrac{\partial V_\theta}{\partial t} = \nu\left(\dfrac{\partial V_\theta}{\partial r^2} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial V_\theta}{\partial r} - \dfrac{V_\theta}{r^2}\right). & (2) \end{cases}$$

Первое уравнение системы – циклострофический баланс, второе – уравнение диффузии азимутальной компоненты скорости. Для одномерного движения это уравнение является линейным. Примером такого движения есть колоннообразный вертолётный вихрь, кинематика которого хорошо аппроксимируется вихрем Лэмба-Озеена:

$$\begin{cases} V_\theta = \dfrac{1}{r\left(1+4t/\mathrm{Re}\right)^{1/2}}\left[1-\exp\left(-r^2\left(1+4t/\mathrm{Re}\right)\right)\right], & (3) \\ \omega_z = \dfrac{2}{1+4t/\mathrm{Re}}\exp\left(-r^2/\left(1+4t/\mathrm{Re}\right)\right). & (4) \end{cases}$$

Как указано в работе [1], такой вихрь является устойчивой структурой. И тем не менее на фоне указанного движения (3)-(4), происходит генерация вторичного движения – вихревых колец. В цитированной работе [1] предпринята попытка объяснить это очевидное противоречие при помощи некого оптимального механизма. *Цель данной работы* – выяснить причину неустойчивости, начинающейся на периферии ядра.

Когда в упомянутой работе говорится об устойчивости, то имеется в виду инерционная устойчивость и критерий Рэлея инерционной устойчивости [2] – так называемая *циркуляционная теорема* (не путать с теоремами Кельвина-Гельмгольдца о циркуляции). Согласно этой теореме, если квадрат циркуляции $\left(V_\theta r\right)^2$ возрастает с удалением от оси вращения, то такое движение – инерционно устойчивое. И наоборот. Нейтральной кривой устойчивости, по этому критерию, есть потенциальное перемещение жидкой частицы по концентрическим окружностям: $V_\theta = C/r$.

Уместно вспомнить, что реальные жидкости и газы – вязкие среды. Поэтому не случайно критерий инерционной устойчивости, доказанный для невязких, в общем случае нестационарных, движений, не может объяснить возникающие внутри колоннообразного вертолётного вихря турбулентные вихревые кольца (вихри Тейлора). Действительно, согласно этой теореме весь вихрь Лэмба-Озеена должен быть устойчивым. Квадрат циркуляции равен:

$$\left(V_\theta \cdot r \cdot 2\pi\right)^2 = \left(\Gamma\right)^2 \left[1 - \exp\left(-\frac{r^2}{\lambda^2}\right)\right]^2 . \quad (5)$$

В выражении (5) $\lambda = \left(1 + 4t/\mathrm{Re}\right)^{1/2}$. В соответствии с критерием Рэлея:

$\frac{d}{dr}\left(\left(V_\theta \cdot r \cdot 2\pi\right)^2\right) = \left(\Gamma\right)^2 \cdot 2\left[1 - \exp\left(-\frac{r^2}{\lambda^2}\right)\right]\frac{2r}{\lambda^2}\exp\left(-\frac{r^2}{\lambda^2}\right) > 0$ для всех $r > 0$.

Это означает, что вихрь инерционно устойчив везде. Используя аналогию Рэлея, которая, как указано выше, справедлива и для вязких течений, приходим к следующему неравенству:

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{\left[1 - \exp\left(-\left(r/\lambda\right)^2\right)\right]^2}{r^3}\right) = \frac{\left[1 - \exp\left(-\left(r/\lambda\right)^2\right)\right]\left(4\left(r/\lambda\right)^2 - 3\left[1 - \exp\left(-\left(r/\lambda\right)^2\right)\right]\right)}{r^4} > 0 ,$$

которое эквивалентно $4\left(r/\lambda\right)^2 - 3\left[1 - \exp\left(-\left(r/\lambda\right)^2\right)\right] > 0$.

Последнее неравенство означает, что вихрь Лэмба-Озеена имеет внутреннюю устойчивую область и внешнюю неустойчивую. Это указывает на возможность генерации областей неустойчивости внутри вихря, что может привести даже к турбулентности. В области перед максимумом V_θ, то есть на периферии ядра вихря, центробежное ускорение становится убывающим (для r больше чем приблизительно 0.8 от ядра вихря, см. рис.1). Это объясняет генерацию вихрей Тейлора подобно тем, что имеют место между двумя вращающимися цилиндрами в случаях потери устойчивости.

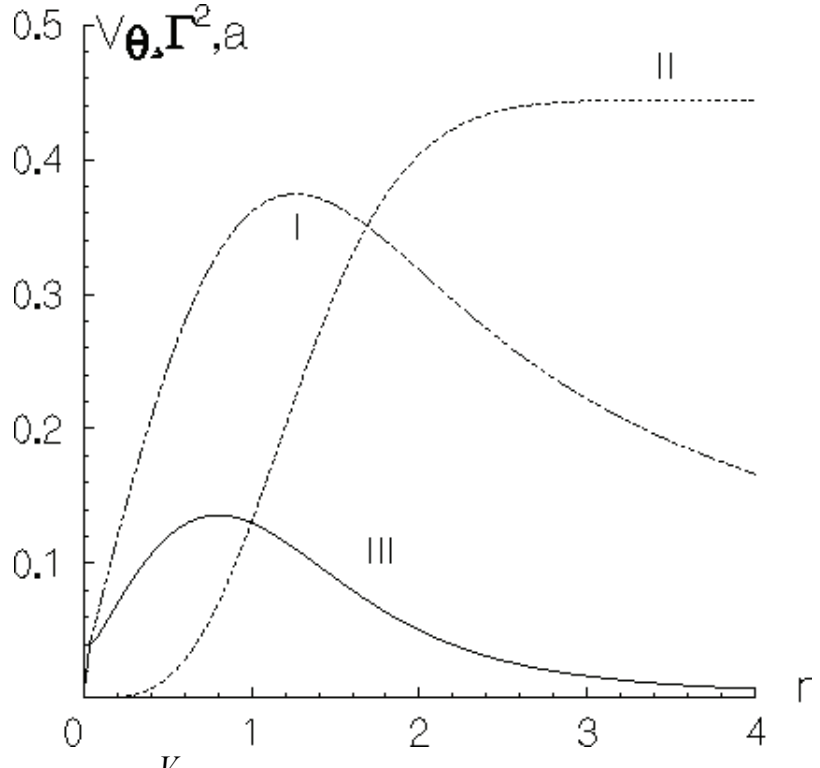


Fig.2 Азимутальная скорость V_θ (кривая I), квадрат циркуляции (делённый на 2π) $\Gamma^2 = \left(V_\theta \cdot r\right)^2$ (кривая II) и центробежное ускорение $a = \frac{V_\theta^2}{r}$ (кривая III).

Следовательно, отход от ограничения идеальности жидкости (и газа) и учёт вязкости, сохранил *аналогию* (Рэлея). А циркуляция вдоль линий тока при этом не сохраняется. Но именно *аналогия* является центральной идеей Рэлея [2]. Ведь указанная аналогия вовсе не зависит от того, сохраняется циркуляция вдоль линий тока или нет. Поэтому отменять эту аналогию, чего до сих пор никто не сделал, -- вовсе нет надобности. Наоборот: как раз аналогия между гидростатическим и циклострофическим балансом является критерием устойчивости одномерного вязкого (а значит реального) вращения. Известно, что если плотность жидкости уменьшается с глубиной, то ее равновесие – неустойчивое. Согласно аналогии Рэлея, если в циклострофическом балансе радиальное (центробежное) ускорение – убывает с удалением от оси вращения, то такое состояние – также неустойчиво. И наоборот. Именно такой подход достаточно точно определяет начало зоны неустойчивости в колоннообразном вертолетном вихре (рис. 1).

Литература

[1] *Arnaud Antkowiak and Pierre Brancher.* On the vortex rings around vortices: optimal mechanism. J.Fluid Mech. 2007. v. 578, pp. 295-304.

[2] *Lord Rayleigh O.M., F.R.S.* On the Dynamics of Revolvinf Fluids. //Proc.Roy. Soc. London. 1917. v. 93 № A648, pp.148-154.

УДК 533.63, 534.23

Пётр В. Лукьянов
(Институт гидромеханики НАН Украины, Украина)

ШУМ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ВЕРТОЛЁТА ПРИ ДОЗВУКОВОМ РЕЖИМЕ ОБТЕКАНИЯ: АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

Представлен анализ теоретических моделей шума вращения вертолёта, разработанных в рамках потенциальной теории. Указаны отличительные особенности этих моделей, границы их применимости, а также современное состояние дел ("state of art ") в данном направлении научных исследований.

Введение

Дозвуковое обтекание ротора характерно для низкоскоростных режимов полета: взлёта-посадки летательного аппарата (ЛА). Изучение дозвукового режима важно ещё и потому, что здесь происходит зарождение шума, получившего название шума вращения. Основную долю в спектр этого шума вносят источники монопольного и дипольного типа, которые появляются за счёт неоднородности геометрии лопасти и флуктуирующей на ней силовой нагрузки.

Если вращение ротора равномерное, то воздействующие на него силы периодические. Следовательно, спектр шума винта имеет периодическую структуру. Дискретные частоты f_m этого спектра кратны произведению числа оборотов в секунду n_c на число лопастей n: $f_m = mnn_c$.

Шум вращения появляется по двум причинам. Одной из них является наличие приложенных к лопастям силы тяги, момента. Генерируемый шум такого типа имеет дипольную природу. Вторая причина связана с конечной толщиной лопасти. При вращении лопасть вытесняет из окружающей среды объём, равный объёму лопасти. Этот объём пульсирует с частотой вращения, генерируя шум. Объёмный шум эквивалентен простому акустическому источнику – монополю. Этот источник присутствует всегда, поскольку лопасть винта имеет конечную толщину. Интенсивность шума вращения зависит от геометрии и частоты вращения лопасти, кинематических характеристик течения.

Шум вращения, анализ существующих моделей, перспективы исследований.

1. Подход Гутина, его дальнеё развитие

Первым успешным подходом расчёта шума вращения считаются работы Гутина [1],[2]. Гутин получил приближенную формулу, которой пользовались для оценки шума одновинтовых дозвуковых самолётов на протяжении ряда лет. Вкратце рассмотрим этот подход.

Известно, что на винт самолёта действуют силовые нагрузки (сила тяги винта $P_в$ и момент Q). Гутин предложил сносить силовые нагрузки на некоторый эффективный, средний, радиус ($R_c = 0,7 - 0,75R$ лопасти). Сила тяги, приложенная к винту, создаёт обратное действие (противодействие) на среду со стороны винта. Полагается, что звук, генерируемый при вращении, является результатом воздействия сосредоточенной силы на среду. Следуя этим рассуждениям, Гутин воспользовался формулой, полученной Лэмбом, для внешней распределенной силы с компонентами (X,Y,Z), действующей на среду. В результате её применения для амплитуды звукового давления получается следующее выражение:

$$P = \frac{m\omega_1}{2\pi cr}[-P\cos\gamma + \frac{nc}{\omega_1 R^2}M]J_{mn}(kR\sin\gamma) \quad \text{- уравнение Гутина,} \qquad (1)$$

где ($R \cong R_c$), R_c - средний радиус.

Расчёт по формуле (1) даёт хорошее согласование с экспериментом для основных (первых) мод. Для более высоких гармоник расчёт по этой формуле хуже согласуется с экспериментальными данными. Причина такого несоответствия, скорее всего, в следующем. Во-первых, для моделирования звукового поля используется упрощенная модель, которая основана на известном решении неоднородного волнового уравнения в линейном приближении. Во-вторых, в правой части этого уравнения присутствуют упомянутые выше силовые нагрузки, под воздействием которых, полагается, генерируется звук. Первая из причин, линейная модель, понятна. Что же касается второй причины, то здесь необходимо дать некоторое пояснение.

Обратим внимание на вывод формулы для потенциала звукового давления от сосредоточенной силы, которые представлен в монографии Лэмба [3]. Производные от сосредоточенной силы с компонентами *(X,Y,Z)* оказываются в правой части линеаризованного волнового уравнения, полученного в терминах сжимаемости. А далее, в предположении гармоничности приложенных сил, уравнение упрощается так, что ни о каких нестационарных явлениях фактически речь не идёт. В полученном интегральном представлении присутствуют лишь компоненты внешней нагрузки *(X,Y,Z)*, а не их производные. Сразу же возникает логический вопрос: как же можно учесть малые нестационарные возмущения в потоке, которые генерируют звук? Ведь подставляемая сила тяги и момент, приложенные к винту, постоянны в формуле (1).

Сегодня известно, что звук аэродинамического происхождения генерируется не под воздействием постоянных нагрузок, а является результатом нестационарного, часто неустойчивого, их изменения. Однако в правой части уравнения Гутина, полученного для давления, не присутствуют малые возмущения основных характеристик течения, которые и являются источником звука. Иначе, на основании только что сказанного, физически такое уравнение не корректно.

В дальнейшем развитие теории Гутина шло по пути уточнения нагрузок, прилагаемых к лопастям, разделения области существования поля на две части, усложнения формы лопасти и т.д. [4-7]. Но все эти усовершенствования остались в рамках основополагающих идей Гутина. Использование теории Гутина можно ещё встретить в некоторых работах конца 60-х, начала 70-х годов прошлого столетия. Однако, с развитием вычислительных методов, численных схем учёные стали всё чаще и чаще использовать более сложные математические модели. Об этом речь пойдёт в следующем подразделе.

2. Уравнение Кармана – Гудерлея в задачах аэроакустики

Звук аэродинамического происхождения, как уже упоминалось выше, имеет несколько иной характер, чем чисто механические колебания твердого тела, лопасти винта. За основу его описания взято уравнение Кармана [7] - Гудерлея [8]:

$$[1 - \frac{1}{M_1^2} + \varepsilon(\gamma+1)f_\xi(\xi_0,\eta_0)]f_{\xi\xi}(\xi_0,\eta_0) - \frac{\lambda^2}{M_1^2}f_{\eta\eta}(\xi_0,\eta_0) = 0 \qquad (2)$$

и его обобщение на трёхмерный нестационарный случай [10]:

$$\frac{k}{U^2}^2 f_{\tau\tau} + \frac{1}{c^2}[1 - \frac{1}{M_1^2} + (1+\gamma)\frac{\varepsilon f_\xi}{c}]f_{\xi\xi} + 2\frac{k}{cU}f_{\xi\tau} - \frac{\lambda^2}{M_1^2}f_{\eta\eta} - \frac{1}{M_1^2 R^2}f_{\zeta\zeta} = 0\,. \qquad (3)$$

Это уравнение описывает распространение малых возмущений от поверхности тонкого крыла: в потоке, взаимодействующим с крылом, генерируются малые нестационарные возмущения, которые, как было показано в [10], являются источником звука.

Однако уравнение Кармана - Гудерлея поначалу использовалось не для описания генерации звука, а лишь для изучения малых возмущений от крыла. Считалось, что аэродинамически тонкое тело способно генерировать малые возмущения, при определенных условиях которые переходят в ударную волну. Изучением данного вопроса занимались аэродинамики на протяжении нескольких десятков лет. Лишь позднее выяснилось, что как раз эти малые возмущения и являются источником звука. Ударные волны, локально возникающие в том или ином месте, лишь дополнительно усиливают звук. Этот факт стал отправным для использования данной теории для моделирования шума от тонкого крыла, поскольку, во-первых, она способна учесть нелинейные эффекты, что в принципе не возможно для существующих упрощённых линейных приближений в акустике. Во-вторых, сегодня уже ясно, что не лопасть колеблется как таковая, а поток непосредственно, встречая жесткую границу.

На протяжении ряда последующих лет учёные при расчёте шума винта вертолёта поступали так. Выполняли расчёт ближнего поля, пользуясь теорией малых возмущений, а после этого подставляли полученные данные ближнего поля в интегральное представление для дальнего поля. Считалось, что в дальнем поле нелинейность возмущений слаба, поэтому можно смело пользоваться данными ближнего поля. Однако для этого необходимо было выполнить расчёт по полю на такое расстояние, где нелинейность несущественна.

Но малые возмущения от тонкого крыла и звук по физической сути одно и то же или нет? Объяснение было следующее: уравнение малых возмущений в теории тонкого крыла и линейное приближение в аэроакустике похожи, следовательно, можно приближённо воспользоваться данными ближнего поля в интегральном представлении. Но это справедливо лишь тогда, когда речь идёт об одних и тех же физических явлениях.

Изучению данного вопроса была посвящена работа [10]. В ней в частности показано, что в рамках имеющейся физической модели распространения малых возмущений от тонкого крыла, эти возмущения являются ни чем иным, как непосредственно звуковыми волнами. Нелинейный характер звуковых волн учтён как в описании ближнего поля, так и в интегральном представлении для дальнего поля. Данный аспект позволил использовать результаты расчёта ближнего поля в непосредственной близости от лопасти винта, что существенно сократило расчёт задачи в целом.

В Части 2 приводится математическая постановка задачи, результаты расчёта для дозвукового режима обтекания потоком крыла в зависимости от толщины поперечного сечения лопасти.

Выводы

1. Выполнен анализ существующих потенциальных теорий, которые моделируют шум вращения ротора вертолёта.

2.Указаны отличительные особенности этих моделей, границы их применимости, а также показано современное состояние исследований в этой области, пути развития.

Список литературы

1. Л.Я. Гутин О звуковом поле вращающегося винта // ЖТФ,т.6,вып.5,1936;

2. Гутин Л.Я. О “звуке вращения “ воздушного винта // ЖТФ,т.12,вып.2-3,1942.

3. *H.Lamb*, Hydrodynamics, Sixth edition. Cambridge University Press. 1975,752p

4. *Hubbard H., Regier A.* Free-space oscillating pressure near the tips of rotating propeller // NASA, Rep.996,1950.

5. *Ernsthausen W.,Willms W*.,Uber die Berechuangdes Schallfeldes einer Luftschraube. Akusische Zeitschrift,Heft1,1939.

6. *Непомнящий Е.И.* Исследование и расчет звукового воздушного винта // „Труды ЦИАМ", вып.39, М.,Оборонгиз,1941.

7. *Непомнящий Е.И.* Зависимость звука воздушного винта от его аэродинамических и конструктивных параметров.// Изв.Ленинградского электротехнического института,вып.28,1955.

8. *Karman T., von.* The similarity low of transonic flow // Journal of Math. And Physics. -1947.- 6,N3.-p.182-190.

9. *Guderley G*.: Considerations of the Structure of Mixed Subsonic and Supersonic Flow Patterns, Wright Field Report, F-TR-2168-ND, October 1947.

10. *Лукьянов П.В*. Нестационарное распространение малых возмущений от тонкого крыла: ближнее и дальнее поле // Акустичний вісник. т.12,3,2009,с.41-55.

УДК 533.63, 534.23

Пётр В. Лукьянов
(Институт гидромеханики НАН Украины, Украина)

ШУМ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ВЕРТОЛЁТА ПРИ ДОЗВУКОВОМ РЕЖИМЕ ОБТЕКАНИЯ: ПОСТАНОВКА, РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ, АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА

Используя современную модель распространения малых возмущений от тонкого крыла, выполнен расчёт задачи о генерации звука лопастью винта вертолёта при дозвуковом режиме течения. Изучен уровень генерируемого шума для различных толщин лопасти винта. Получено хорошее соответствие расчётных данных с экспериментальными результатами.

1. Постановка задачи

В данной работе рассматривается тонкое удлинённое крыло, взаимодействующее с набегающим на него потоком рис.1. Скорость набегающего потока линейно зависит от удлинения крыла, т.е. радиуса вращения лопасти: $V = V(z)$. Используя общепринятые обозначения, координату вдоль удлинения лопасти обозначим через z. Координаты x, y определяют соответственно направление вдоль и поперёк хорды поперечного сечения лопасти.

Пусть набегающий поток имеет распределение скорости

$$V = V(U\infty, z). \tag{1}$$

Уравнение, описывающее распространение малых возмущений от тонкого крыла, имеет вид [1]:

$$\nabla^2\phi' - \frac{1}{a_\infty^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\phi' = M_1^2\{(1+(1+\gamma)\phi_x')\phi_{xx}' + \frac{2}{U}\phi_{xt}'\} \tag{2}$$

Здесь ϕ' - потенциал малых возмущений, $a_\infty, U_\infty = U$ - скорость звука и скорость набегающего потока соответственно. Граничное условие на поверхности крыла, заданной

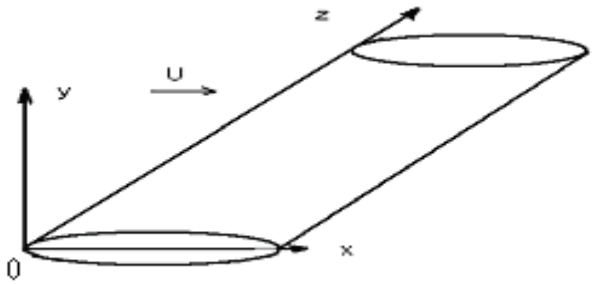


рис.1 Криловой профиль в потоке

уравнением $F(x, y, z) = 0$, запишется:

$$F_t + \overline{v}\nabla F = 0 \tag{3}$$

Для несимметричного крыла необходимо выполнение условия Кута-Жуковского на задней кромке. Однако здесь рассматривается осесимметричное в поперечном сечении крыло, для которого это условие выполняется автоматически.

Предполагается, что до взаимодействия с лопастью винта поток был однородным, в котором малые возмущения отсутствуют:

$$\phi' = \phi_t' = 0, t = 0 \tag{4}$$

Таким образом, задача сводится к решению системы уравнений (2)-(3) с начальными условиями (4). Для решения этой системы уравнений используем численно-аналитический подход [2]. В результате расчёта получаем значение потенциала и его производных.

2. **Коэффициент давления**

На основе данных ближнего поля можно рассчитать коэффициент давления C_p. Используя подход, изложенный в работе [1], выражение для коэффициента давления запишется в виде:

$$C = -2 \cdot (\phi + k\phi) \tag{5}$$

Данные расчёта коэффициента давления (рис.2) показывают сложный характер

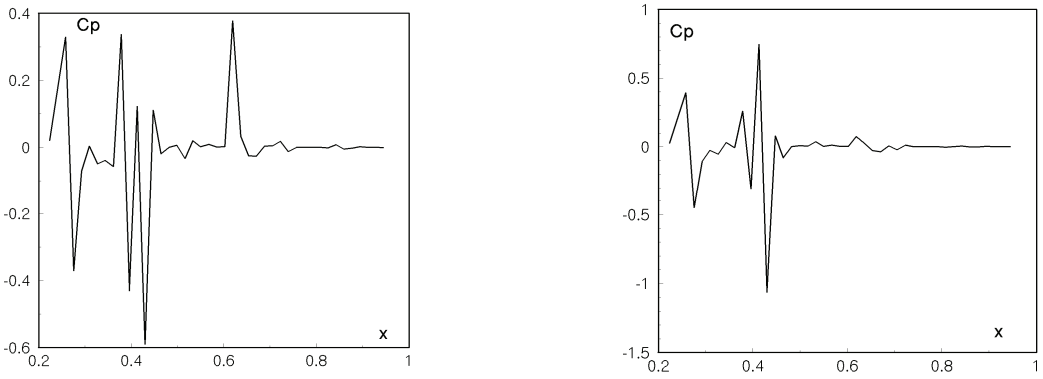


рис.2 Коэффициент давления $\delta = 0,04; 0,06$

распределения давления над крылом, M=0.3, Ω =3000 об./м. Появляющиеся на графике пики для различных толщин крыла имеют несколько отличную форму и величину. Данное обстоятельство ещё раз говорит о том, что распределение энергии обтекаемого потока зависит от ряда факторов. Определяется оно толщиной лопасти, её формой и взаимодействием ряда аэродинамических переменных между собой. Так на рис.2 присутствует несколько первых пиков, за ними поток постепенно успокаивается, поскольку крыло сужается и тем самым менее возмущает поток. Появившиеся возмущения в дальнейшем движении ослабевают, не получая энергию возмущения потока.

3. **Дальнее звуковое поле**

Имея характеристики ближнего поля, можно выполнить расчёт дальнего (звукового) поля на основании следующей формулы [1]:

$$-M_1^2 \int_S [\frac{F}{R}]_{t^*} dS_x + \int_S [F_1]_{t^*} dS = 4\pi\phi'(x, t_1) \tag{6}$$

где

$$F = \phi_x' + \frac{1}{2}(1+\gamma)(\phi_x')^2 + \frac{2}{U}\phi_t' \quad , \qquad F_1 = \frac{1}{R}\cdot\frac{\partial\phi'}{\partial n} + \frac{1}{Ra_\infty}\frac{\partial R}{\partial n}\frac{\partial\phi'}{\partial t} - \phi'\frac{\partial(1/R)}{\partial n} \tag{7}$$

Эта формула получена на основе известного соотношения [3] . Характер убывания звука в зависимости от расстояния до источника изучен в работе [4]. Он не зависит от диапазона скоростей обтекания крыла. Что же касается уровня излучения, расположения максимумов, их абсолютное значение, то здесь наблюдается непосредственная зависимость, как от кинематики течения, так и от геометрии обтекаемого тела. Чем меньше скорость набегающего потока, тем ниже уровень генерируемого шума (рис.3). Это также относится и к толщине поперечного сечения лопасти: шум от лопасти тоньше менее интенсивный. Максимальные и минимальные значения по уровню практически совпадают со значениями для типичного шума вертолёта [5]. Отличие нижнего уровня (минимум несколько выше по уровню) говорит о том, что в данной задаче расстояние, на котором произведен расчёт звукового поля ближе, чем в эксперименте. В выполненных расчётах шум исследовался в нескольких сантиметрах от лопасти. Необходимо также помнить, что здесь рассматривается идеальная среда. На самом же деле в среде присутствует незначительное затухание звука, что также несколько занижает экспериментально наблюдаемый уровень шума.

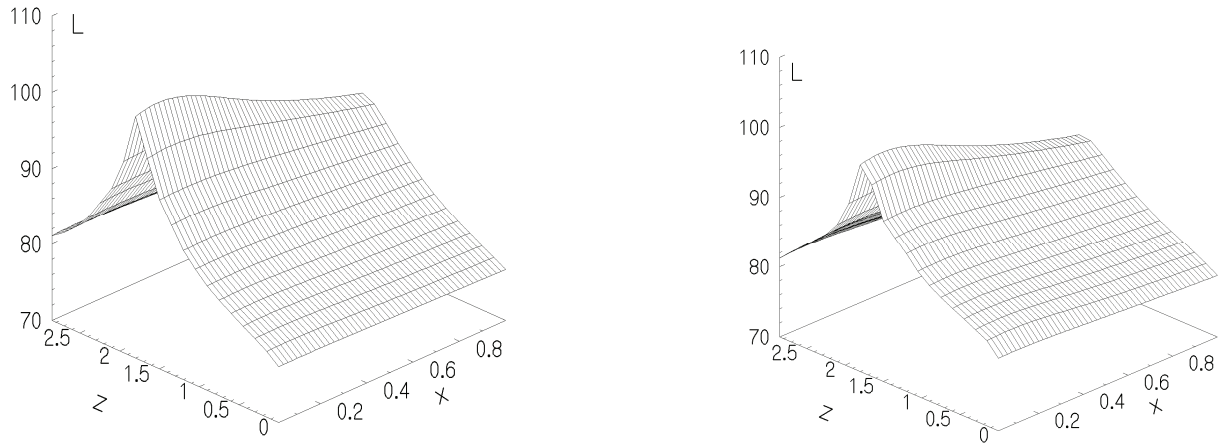


Рис.3 Уровень генерируемого шума: $\delta = 0,04;0,06$

Спектр генерируемого при этом шума имеет следующий вид (рис.4). Первая (нулевая) мода по уровню порядка L=77,78,80Дб для толщин $\delta = 0,04;0,06$ соответственно. Максимум уровня шума находится на второй моде: L=96,102,105Дб. Полученные результаты очень близки к данным в экспериментальных работах ряда учёных [3],[5]. Различие наблюдается по широкополосному шуму. Это потому, что в решённой задаче исследовалась лишь составляющая шума вращения, т.е. без учёта вихревого шума.

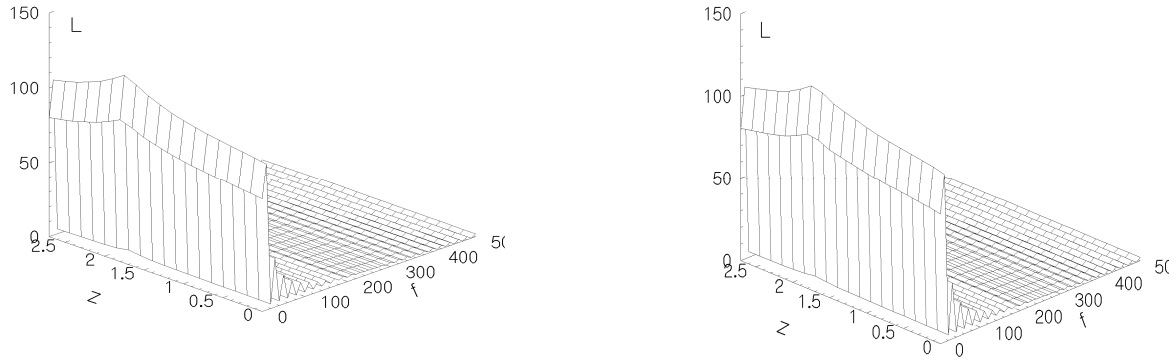


Рис. 4 Спектр генерируемого шума: $\delta = 0,04;0,06$

Выводы

1. Решение задачи об обтекании лопасти винта вертолёта в дозвуковом диапазоне скоростей прямолинейным потоком показало, что характер поведения, форма звуковой волны зависят как от кинематики, так и геометрии набегающего потока.
2. Проведен анализ результатов вычислений генерируемого шума, который говорит о том, что используемая модель достаточно точно описывает шум вращения одиночной лопасти ротора.
3. Сквозной метод решения задачи, примененный в данной работе, существенно сокращает вычислительные затраты.

Список литературы

1. Лукьянов П.В. Нестационарное распространение малых возмущений от тонкого крыла: ближнее и дальнее поле // Акустичний вісник. т.12,3,2009,с.41-55.

2. *Лукьянов П.В.* Применение численно-аналитического метода для решения задач акустики // Збірн. Праць акуст.симпоз. Консонанс-2005.-К.: ІГМ НАНУ.-2005,с.225-230.

3. Голдштейн М.И. Аэроакустика. - М.: ”Машиностроение”,1981,296с.

4. *Коул Дж.,Кук Л.* Трансзвуковая аэродинамика. М: Мир,1989.-360с.

5. Авиационная акустика. // *Под.ред.А.Г.Мунина*.- М.:”Машиностроение”,1986,244с.

УДК 519.85:510.57

М.М. Лопатюк, кандидат технічних наук
(Київська державна академія водного транспорту
ім. гетьмана П.Конашевича-Сагайдачного, Україна)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КРИЛА КІНЦЕВОГО РОЗМАХУ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЛАЙН–ФУНКЦІЙ

Представлені методика і алгоритми розв'язку задач обтікання аеродинамічного профілю, циркуляції вздовж крила кінцевого розмаху, інтегро-диференціальних рівнянь задач гідроаеромеханіки на базі єдиного чисельного метода. Приділена увага однорідності математичної моделі і простоті її включення до більш складного системного комплексу задач прикладної гідроаеромеханіки.

Розглянемо дискретну модель крила, яка являє собою впорядкований набір поперечних і поздовжніх дискретних кривих, що описують поверхню крила. Для апроксимації вибрана кубічна сплайн-функція, яка є оптимальною з точки зору простоти і забезпечення потрібного для розрахунків другого порядку гладкості та мінімальної ймовірності появи точок перегину:

$$S''(x) = M_j \frac{x_{j+1} - x}{h_j} - M_{j+1} \frac{x - x_j}{h_j}, \qquad (1)$$

де x_j, $j = 1,...,n$ - координати вузлових точок;

$h_j = x_{j+1} - x_j$;

M_j - величини, пов'язані із згинальним моментом в вузлових точках (їх називають для скорочення «моментами»).

Використовуємо осереднений параметр [1, 3]

$$\frac{t_j}{t_N}(N-1), \quad j = 1,...,N,$$

що відповідає точці на кожному з поперечних профілів, через які можна провести поздовжні лінії крила.

Для знаходження обтікання кожного з цих профілів потоком нестисливої і нев'язкої рідини розв'язуємо рівняння Лапласа відносно потенціалу течії:

$$\Delta\varphi = 0 \quad \text{з граничною умовою} \quad \frac{\partial\varphi}{\partial n}\Big|_L = 0.$$

Розв'язок зводиться за [2] до інтегрального рівняння відносно швидкості $V(t) = \frac{\partial\varphi}{\partial t}$:

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^l V(\bar{t})\frac{\partial}{\partial n} arctg\frac{y-\eta}{x-\xi} d\bar{t} = V_\infty \frac{dx}{dn}$$

$$\frac{1}{2}V(t) + \frac{1}{2\pi}\int_0^l V(\bar{t})\frac{\partial}{\partial t} arctg\frac{y-\eta}{x-\xi} d\bar{t} = -V_\infty \frac{dx}{dt}, \qquad (2)$$

де $\bar{t}$ - параметр точки на контурі;

l - довжина профілю.

Представивши функцію $V(t)$ у вигляді кубічного сплайна, отримаємо визначений інтеграл з границями $[0,l]$ із формул (2) як суму визначених інтегралів на інтервалах $\lfloor t_{j-1}, t_j \rfloor$. Моменти $MV_j, \quad j=1,...,N$ знаходимо як розв'язок системи рівнянь.

Через приведену швидкість

$$g(t)=\frac{V(t)}{V_\infty}\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$$

ці рівняння будуть мати вигляд

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^l g(\bar{t})\cdot\frac{\dot{x}(x-\xi)+\dot{y}(y-\eta)}{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}d\bar{t}=-\dot{y}\cos\alpha+\dot{x}\sin\alpha \tag{3}$$

$$g(t)-\frac{1}{\pi}\int_0^l g(\bar{t})\cdot\frac{\dot{y}(x-\xi)+\dot{x}(y-\eta)}{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}d\bar{t}=-2\dot{x}\cos\alpha-2\dot{y}\sin\alpha\,, \tag{4}$$

де α - кут атаки.

Для визначення швидкості $g(t)$ необхідно розв'язати одне з цих рівнянь, наприклад, рівняння (4). Припускаємо, приведена швидкість $g(t)$ є параметричною кубічною сплайн-функцією, тобто $g(t)=S_g(t)$ або у відповідності з [1]

$$S_g(t)=MG_{j-1}\frac{(t_{j-1}-t)^3}{6h}+MG_j\frac{(t-t_{j-1})^3}{6h}+$$
$$+\left(g_{j-1,j-1}-\frac{MG_{j-1}h^2}{6}\right)\frac{(t_j-t)}{h}+\left(g_{jj}-\frac{MG_jh^2}{6}\right)\frac{(t-t_{j-1})}{h},\quad j=1,\ldots,N\,, \tag{5}$$

де MG_j - моменти сплайна $S_g(t)$ в вузлових точках,

g_{jj} - значення приведеної швидкості $g(t)$ в вузлових точках, які необхідно визначити.

Позначимо

$$F(t)=\pi\left(-2\dot{x}\cos\alpha-2\dot{y}\sin\alpha\right),$$

$$K(\bar{t},t)=\frac{\dot{y}(x-\xi)-\dot{x}(y-\eta)}{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}.$$

Тоді інтегральне рівняння (4) прийме вигляд

$$\pi\cdot g(t)-\int_0^l g(\bar{t})K(\bar{t},t)dt=\pi\cdot g(t)-\sum_{j=1}^{N-1}\int_{t_j}^{t_{j+1}} g_j(\bar{t})K_j(\bar{t},t)d\bar{t}=F(t)$$

В i-ій точці на профілі будемо мати

$$\pi\cdot g(t_i)-\sum_{j=1,j\neq k}^{N-1}\int_{t_j}^{t_{j=1}} g_j(\bar{t})K_j(\bar{t},t_i)d\bar{t}-\lim_{\varepsilon\to 0}\left(\int_{t_k}^{t-\varepsilon} g_r(\bar{t})K_k(\bar{t},t_i)d\bar{t}+\int_{t_i+\varepsilon}^{t_{k=1}} g_k(\bar{t})K_k(\bar{t},t_i)dt\right)=F(t_i) \tag{6}$$

На k - ому інтервалі ядро $K(\bar{t},t)$ має особливість типу $\frac{0}{0}$. Переходячи до границі під знаком інтегралу, отримаємо

$$\lim_{\varepsilon\to 0}\left(\int_{t_k}^{t-\varepsilon} g_r(\bar{t})K_k(\bar{t},t_i)d\bar{t}+\int_{t_i+\varepsilon}^{t_{k+1}} g_k(\bar{t})K_k(\bar{t},t_i)dt\right)=\int_{t_k}^{t_{k+1}} g_k(\bar{t})\left\{\lim_{t\to t_i}K_k(\bar{t},t_i)\right\}d\bar{t} \quad .$$

Позначивши цю границю через $\overline{K}(t_i)$, отримаємо

$$\overline{K}(t_s)=\lim_{t\to t_i}\frac{\dot{y}(x-\xi)-\dot{x}(y-\eta)}{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}=\frac{\dot{x}\ddot{y}-\ddot{x}\dot{y}}{2\left(\dot{x}^2+\dot{y}^2\right)} \quad .$$

Тоді рівняння (6) в $N-2$ вузлових точках (за виключенням двох крайніх) дасть систему з $N-2$ рівнянь:

$$\pi\cdot g_{ii}-\sum_{j=1,j\neq k}^{N-1}\int_{t_j}^{t_{j=1}} g_j(\bar{t})K_j(\bar{t},t_i)d\bar{t}-\int_{t_k}^{t_{k+1}} g_k(\bar{t})\overline{K}(t_i)d\bar{t}=F(t_i),\qquad i=2,\ldots,N-1 \quad . \qquad (7)$$

Дві граничні умови замкнуть систему. Для інтегрування можна використати квадратурні формули Ньютона – Котеса. В результаті отримаємо лінійну систему рівнянь, яку можна розв'язати за допомогою будь якого методу розв'язування систем лінійних рівнянь (наприклад, в MATHCAD).

Для знаходження швидкості вздовж крила необхідне значення циркуляції $\Gamma=\Gamma(z)$ по розмаху отримуємо із інтегро-диференціального рівняння Прандтля

$$\Gamma(z)=\frac{1}{2}a_0(z)b(z)V_\infty\cdot\left(\alpha(z)-\frac{1}{4\pi V_\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{d\Gamma}{d\zeta}\cdot\frac{d\zeta}{z-\zeta}\right), \qquad (8)$$

де $a_0(z)=\left(\frac{dC_y}{d\alpha}\right)_{c_y=0}$;

$b(z)$ - хорда відповідного крилового профілю;

$\alpha(z)$ - геометричний кут атаки;

C_y - коефіцієнт підйомної сили.

Представивши функцію $\Gamma=\Gamma(z)$ у вигляді кубічної сплайн–функції

$$\Gamma(z)=\frac{1}{6H}\left[M\Gamma_j\cdot\left(z_{j+1}-z\right)^3+M\Gamma_{j+1}\cdot\left(z-z_j\right)^3+\left(6\Gamma_j-M\Gamma_j\cdot H_j^2\right)\cdot\left(z_{j+1}-z\right)+\right.$$
$$\left.+\left(6\Gamma_{j+1}-M\Gamma_{j+1}\cdot H_j^2\right)\cdot\left(z-z_j\right)\right], \qquad (9)$$

зводимо задачу до розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь відносно моментів сплайн-функції $\Gamma = \Gamma(z)$ в вузлових точках.

Таким чином , отримаємо набір елементів – «моментів» відповідних сплайн–функцій

$$MX_j, MY_j, MV_j, M\Gamma_j,$$

які складають базу даних геометричної і аеро-, гідродинамічної моделей поверхні. За їх допомогою можна знаходити і інші необхідні параметри, наприклад, MP_j - моменти сплайн-функції тиску. Тобто маючи значення поперечних $t_k, k = 1,\ldots,N$ і поздовжніх $s_i, i = 1,\ldots,L$, зможемо знайти значення будь яке проміжне значення необхідної геометричної або аеро-, гідродинамічної характеристики.

Висновки

Можливо побудувати єдину цифрову параметричну математичну модель, яка в кожний поточний момент є актуальною і дозволяє визначити основні характеристики профілю (крила). Така модель може бути включеною в більш складний системний комплекс задач прикладної гідроаеромеханіки. Єдиною є інформаційна система символів – матриці коефіцієнтів відповідних сплайн-функцій. Просте і однорідне завдання вхідної інформації дозволяє розв'язувати всю сукупність задач одноманітно.

Список літератури

1. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн – функцій.-М.: Наука, 1980.-352с.

2. Павловец Г.А. Методы расчета обтекания сечений крыла идеальным несжимаемым потоком.- М.: Труды ЦАГИ.- Вып. 1344, 1971

3. Лопатюк М.М. Применение сплайн – функций для решения задач обтекания крыловых профилей и поверхностей. Сб. тезисов IV НТК молодых ученых, Новосибирск, 1979

УДК 629.735.051

В.В. Митюков
(Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации (институт), Россия)

СОГЛАСОВАНИЕ ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕТА С АПРИОРНО ЗАДАННЫМИ СВЯЗЯМИ МЕЖДУ НИМИ

Предложен подход к построению алгоритмов уточнения измеренных данных, исходящий из геометрической интерпретации заранее заданных связей (уравнений) между измеряемыми переменными. Приведен конкретный пример связей, присутствующих в модели полета.

Измеряемая информация в задачах моделирования полета представляется в виде числовых рядов в массивах данных, записанных с некоторым шагом дискретизации по времени. Между измеряемыми переменными (числовыми рядами) часто существует априорная избыточность в виде заранее заданных связей между ними (уравнений). Эта избыточность может быть использована для уточнения и корректировки измеренных данных, как указывается в работе [1]. Алгоритмы такого согласования данных рассматриваются в ней только для некоторых частных случаев. В представленной работе обосновывается более общий подход, основанный на геометрических представлениях.

Чаще всего связи между рядами переменных представлены в виде алгебраических и дифференциальных уравнений. Предлагаемый подход к уточнению измеренных данных, можно проиллюстрировать на модельном примере дифференциальной связи, поскольку восприятие геометрических объектов возможно в пространстве не выше трехмерного. Геометрически, общим решением обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ) первого порядка является семейство функций одной переменной. Из этого семейства можно выделить одну из функций $y(t)$ (частное решение), которое определяется как исходящее из некоторой начальной точки $\{t_0, y_0\}$ (задача Коши), или как удовлетворяющее значениям y_i при различных значениях t_i, чаще концевых (краевая задача).

Пусть, исходя от обратного, общее решение ОДУ заранее известно и представляет собой однопараметрическое семейство парабол:

$$y = (t - c)^2. \quad \text{отсюда} \quad y' = 2\cdot(t - c) \qquad (1)$$

После преобразования соотношений (1) с целью исключения параметра (c) получается соответствующее дифференциальное уравнение:

$$(y')^2 - 4\cdot y = 0 \qquad (2)$$

Геометрическое многообразие, составляющее область определения уравнения (2), после введения дополнительной переменной ($p = y'$) будет представлять собой некоторую поверхность в трехмерном пространстве с координатами t, y, p. В первую очередь результаты измерений должны принадлежать этой поверхности, но этого еще недостаточно.

Во вторую очередь измеренные значения должны располагаться вдоль одной из линий семейства кривых линий, составляющих эту поверхность и имеющих проекции на координатные плоскости вида (1), что равносильно выполнению функционального равенства $p(t) = y'(t)$ при надлежащем приближении $y'(t)$ на некотором интервале переменной t.

На третьем этапе измеренные данные должны совмещаться с точками пересечения полученной линии с плоскостями, ортогональными оси координат (t) и чередующимися с нужным шагом дискретизации. В итоге, применительно к рассматриваемому примеру, измеренные данные в каждой точке (t_k) должны удовлетворять системе двух уравнений:

$$\begin{cases} p_k^2 - 4y_k = 0 & (\text{в пределах плоскости } t_k \; y \; p) \\ p_k - y_k' = 0 & (\text{в направлении оси } t) \end{cases} \qquad (3)$$

В более общем случае, рассматриваются вектор–функции $\mathbf{y}(t)$ и $\mathbf{p}(t)$, для которых требуется найти приближение – вектор–функцию $\mathbf{f}(t)$.

Предложенное направление разработки алгоритмов согласования измеренных данных, прежде всего является задачей оптимизации, имеющей ряд следующих общих свойств:

- единственная *целевая функция*, значение которой должно быть сделано оптимальным (максимальным, минимальным или равным конкретному значению).
- набор *изменяемых переменных* решаемой задачи. Поиск решения заключается в подборе значений этих переменных, дающих оптимальное значение целевой функции.
- кроме того, может быть задано некоторое количество *ограничений* – условий или соотношений (обычно в виде равенств или неравенств), в пределах которых должно производиться изменение переменных.

В качестве целевой функции могут служить следующие критерии близости искомой вектор–функции $\mathbf{f}(t)$ к точному решению $\mathbf{y}(t)$, используемые в вычислительной практике:

- метод *коллокаций*, состоящий в точном выполнении равенства нулю невязки векторов $\frac{d\mathbf{f}_i}{dt}$ и $\mathbf{p}_i$ в заданных точках t_i ($i = 0, 1, .. m$).
- метод *наименьших квадратов* вытекающий из условия минимума суммы квадратов всех невязок $\mathbf{r}_i = \frac{d\mathbf{f}_i}{dt} - \mathbf{p}_i$ на заданной системе точек t_i ($i = 0, 1, .. m$),

  что сводится к минимуму суммы скалярных произведений $(\mathbf{r}_i \cdot \mathbf{r}_i)$
- метод *Галеркина*, основанный на требовании ортогональности базисных вектор–функций $\boldsymbol{\varphi}_j(t)$ (размерности m) к невязке $\mathbf{r}(t)$ на некотором интервале [0, T], которое выражается в виде:

$$\int_0^T \mathbf{r}(t) \cdot \boldsymbol{\varphi}_j(t) \cdot dt = 0 \qquad \text{для} \quad j = 1, 2, \ldots n$$

Набор изменяемых переменных будет состоять из совокупности компонентов векторов $\mathbf{f}_i$ и $\mathbf{p}_i$. на некоторой системе точек t_i ($i = 0, 1, .. m$).

Подбор этих переменных должен производиться в пределах заранее заданных ограничений – связей между изменяемыми переменными.

Следует добавить, что в офисной программе “Excel” инструментом для решения задач оптимизации служит подключаемая надстройка “Поиск решения”, в которой реализованы основные методы и алгоритмы оптимизации. От пользователя требуется умение с помощью серии диалоговых окон правильно сформулировать условия задачи. Эта надстройка позволяет варьировать одновременно до 200 изменяемых переменных.

При традиционном математическом моделировании полета предполагается, что воздушное судно (ВС) представляет собой твердое тело (недеформируемая конструкция). Движение такой системы точек сводится [2] к поступательному движению их центра масс и вращательному движению вокруг центра масс недеформируемого тела. Вид уравнений движения ВС в общем случае зависит от выбора системы отсчета.

Системы координат (СК), связанные с поверхностью Земли и с воздушным судном, регламентируются ГОСТ 20058-80 [3]. В качестве инерциальной (неускоренной) системы отсчета обычно выбирается система координат связанная с поверхностью Земли, которой в ГОСТ 20058-80 будет соответствовать нормальная земная СК (*Oo Xg Yg Zg*). Такая система отсчета участвует в суточном вращении Земли вокруг своей оси и в годовом вращении вокруг Солнца. Однако порядок ускорений (перегрузок), обусловленных влиянием этих вращений, весьма мал, даже для сверхзвукового ВС.

Уравнения перемещения центра масс под воздействием суммарного вектора внешних сил $\mathbf{R}$ и вращения вокруг центра масс под воздействием суммарного момента $\mathbf{M}$ от этих внешних сил в такой системе координат принимают наиболее простой вид [2]:

$$m \cdot \frac{d\mathbf{V}}{dt} = \mathbf{R} \qquad \frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{M} \qquad (4)$$

где m – общая масса системы материальных точек (твердого тела)

$\mathbf{V}$ – вектор скорости центра масс твердого тела

$\mathbf{L}$ – вектор момента количества движения твердого тела ($\mathbf{L} = I \cdot \boldsymbol{\omega}$)

I – тензор инерции твердого тела

$\boldsymbol{\omega}$ – вектор скорости вращения твердого тела

В качестве проекционной (уже неинерциальной), традиционно выбирается связанная СК ($O\ X\ Y\ Z$), неподвижно фиксированная относительно движущегося тела. В этом случае отсутствует движение точек твердого тела относительно такой СК (присутствует только переносное движение СК), а входящий в выражение для вектора $\mathbf{L} = I \cdot \boldsymbol{\omega}$ тензор инерции (I) не зависит от положения ВС (если не учитывать влияние расходования топлива).

В результате изменения положения векторов $\mathbf{V}$ и $\boldsymbol{\omega}$ относительно связанной СК при ее вращательном движении, динамические уравнения (4) примут следующий вид [1], [2]:

$$m \cdot \left(\frac{d\mathbf{V}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}\right) = \mathbf{R} \qquad \frac{d\mathbf{L}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{L} = \mathbf{M} \qquad (5)$$

Для однозначного определения положения ВС, систему динамических уравнений (5) необходимо дополнить замыкающими кинематическими уравнениями, связывающими параметры движения ВС (или связанной СК) относительно инерциальной СК:

$$\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{V} \qquad \frac{d\boldsymbol{\varphi}}{dt} = \boldsymbol{\omega} \qquad (6)$$

где $\mathbf{r}$ – вектор положения центра масс ВС относительно инерциальной СК.

$\boldsymbol{\varphi}$ – вектор угловой ориентации ВС (углы Эйлера).

Представления правых частей динамических уравнений (их сложность и полнота), включающих в себя как минимум силы и моменты от двигателя и аэродинамического воздействия, зависят от характера решаемой задачи и могут дополняться:

- уравнениями, задающими управляющие воздействия
- уравнениями, моделирующими динамику двигателей
- уравнениями, описывающими состояние внешней среды
- уравнениями, воспроизводящими взаимодействие колес шасси с ВПП и др.

В общем случае построение адекватной динамической модели ВС – чрезвычайно трудная задача с изначально заложенной неопределенностью. В отличие от динамических, кинематические уравнения (6) являются совершенно точными. Поэтому в первую очередь следует согласовывать результаты измерений параметров полета с существующими кинематическими связями.

Проекциями векторных компонентов уравнений (5) и (6) на оси связанной СК являются следующие 12 переменных, регламентированные стандартом ГОСТ 20058-80 :

V_x, V_y, V_z – проекции вектора $\mathbf{V}_k$ земной скорости ц. м. ВС на оси связанной СК;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – проекции вектора $\boldsymbol{\omega}$ скорости вращения ВС на оси связанной СК;

L, H, Z – проекции вектора $\mathbf{r}$ положения ВС на оси нормальной земной СК;

ψ, ϑ, γ – проекции вектора $\boldsymbol{\varphi}$ угловой ориентации ВС на оси промежуточных СК (в общем случае не ортогональных между собой).

Как видно из описаний этих 12 переменных, они определены в различных СК, и их требуется привести к проекционной (связанной) СК. Использование методики, изложенной в [5], приводит к следующим кинематическим соотношениям в матричной форме для этих переменных и их производных:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\gamma) & \sin(\gamma) \\ 0 & -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\vartheta) & \sin(\vartheta) & 0 \\ -\sin(\vartheta) & \cos(\vartheta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\psi) & 0 & -\sin(\psi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\psi) & 0 & \cos(\psi) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} dL/dt \\ dH/dt \\ dZ/dt \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} d\gamma/dt \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\gamma) & \sin(\gamma) \\ 0 & -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) \end{pmatrix} \cdot \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ d\vartheta/dt \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos(\vartheta) & \sin(\vartheta) & 0 \\ -\sin(\vartheta) & \cos(\vartheta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ d\psi/dt \\ 0 \end{pmatrix} \right\} = \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix}$$

Проделав необходимые выкладки, полученные уравнения можно привести к более привычному виду [4], в котором в левой части будут находиться только 6 входящих в эти уравнения производных. Это требуется в случае их интегрирования численными методами.

$$\begin{pmatrix} dL/dt \\ dH/dt \\ dZ/dt \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\psi & 0 & \sin\psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos\vartheta & -\sin\vartheta & 0 \\ \sin\vartheta & \cos\vartheta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & -\sin\gamma \\ 0 & \sin\gamma & \cos\gamma \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} \qquad (7)$$

$$\begin{pmatrix} d\psi/dt \\ d\vartheta/dt \\ d\gamma/dt \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \dfrac{\cos\gamma}{\cos\vartheta} & -\dfrac{\sin\gamma}{\cos\vartheta} \\ 0 & \sin\gamma & \cos\gamma \\ 1 & -\dfrac{\sin\vartheta\cos\gamma}{\cos\vartheta} & \dfrac{\sin\vartheta\sin\gamma}{\cos\vartheta} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} \qquad (8)$$

Набор изменяемых переменных будет состоять из 12–ти проекций вектор–функции **f**(*t*), представляющей собой приближение к решению системы (5) и (6).

f = (V_x, V_y, V_z, ω_x, ω_y, ω_z, *L*, *H*, *Z*, ψ, ϑ, γ),

и 12–ти проекций вектора дополнительных переменных вектор–функции **p**(*t*):

p = (V_x', V_y', V_z', ω_x', ω_y', ω_z', L', H', Z', ψ', ϑ', γ')

которые в первую очередь должны находиться в подмножестве, определяемом наложением шести кинематических связей (7) и (8). Если значения некоторых параметров находятся за его пределами, то перемещение таких точек в сторону этого подмножества, несомненно приблизит их значения к истинным, при условии расположения этих точек вдоль одной из кривых линий, определяемых решением системы уравнений (5) и (6).

Выводы:

Задача согласования измеренных данных с имеющимися зависимостями между ними рассматривается с позиций, основанных на геометрических представлениях. Предложенное направление для разработки алгоритмов и программ продемонстрировано в приложении к задаче повышения точности оценивания измеренных координат и параметров движения ВС (или другого твердого тела) и может найти применение в следующих задачах:

- В задачах инерциальной навигации для уточнения вычисляемых параметров движения объекта в режиме реального времени.
- При расследованиях летных происшествий для восстановления и уточнения записанных параметров движения ВС и предполагаемой траектории.

Список литературы:

1. *Касьянов В.А.* Моделирование полета: Монография. – К.: НАУ, 2004. – 400 с.

2. *Халфман Р.* Динамика: Пер.с англ. –М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. литер., 1972. – 568 с.

3. ГОСТ 20058-80. Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины, определения и обозначения. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 53 с.

4. *Горбатенко С.А.*, и др. Расчет и анализ движения летательных аппаратов. Инженерный справочник 1971. – 352 с.

5. *Митюков В.В., Извольский И.В.* Методика преобразования координат при моделировании движения твердого тела. // Научно-технический журнал «Автоматизация процессов управления». – Ульяновск : НПО «Марс», 2010. – № 4 (22). – с. 16-21.

УДК 519.687.8

А.И. Карпов (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Беларусь)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН ВИДИМОСТИ РАДАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕСУРСОВ GOOGLE MAPS

Аннотация. Данная работа посвящена решению задачи оптимального размещения радара на местности со сложным рельефом и расчета зон видимости и зон отражения радиолокационных станций. Также рассматривается функционал использования топографических карт, полученных с помощью ресурсов Google Maps.

Одно из первых устройств, предназначенных для радиолокации воздушных объектов, было продемонстрировано 26 февраля 1935 года шотландским физиком Робертом Ватсоном-Ваттом, который примерно за год до этого получил первый патент на изобретение подобной системы. Позже, в 1939 году в СССР и США были заключены контракты на поставки радиолокационных станций (РЛС) в армию. Основной целью было обнаружение атак авиации. Во время второй мировой войны в США, СССР и Англии были действующие образцы РЛС, но решающего значения в сражениях войны они не имели. Однако именно события войны показали важность развития радиолокации.

В наше время радиолокационные станции (РЛС) широко применяются для контроля за воздушным пространством. При размещении РЛС на местности со сложным рельефом возникают невидимые зоны, в которых обнаружение летательных аппаратов невозможно, а также зоны отражения, в которых возникают помехи для радара. [1] Именно поэтому актуальной проблемой является выбор наиболее оптимального размещения РЛС на местности, а также моделирование зон видимости и зон отражения сигнала.[2, 3]

Другая важная проблема - это задание карты высот. Ручной ввод данных является трудоемкой операцией, а импорт электронных топографических карт затруднен из-за разнообразия форматов и отсутствия общедоступных карт высот.

Целью работы явилось создание функционала, позволяющего моделировать размещение радара на местности и рассчитывать зоны видимости и зоны отражения сигнала, а также обладающего средствами удобного задания топографических карт.

Методы разработки. Программа моделирования разрабатывалась в среде Microsoft Visual Studio 2008 на языке C#. В программе использованы данные топографических карт, взятые из внешних источников. Получение высоты местности по координатам широты и долготы возможно из данных одной из двух цифровых моделей земли SRTM (Shuttle radar topographic mission) или ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) GDEM (Global Digital Elevation Model), а для удобства выбора интересующей местности используется функционал, предоставляемый Google Maps.

В математической модели программы производился расчёт углов скольжения и закрытия по формулам [4, 5]:

$$\psi_{i,j} = \left(arctg\left(\frac{H_{i,j} - H_{i,j-1}}{\Delta r}\right) + arctg\left(\frac{(h_{поз} + h_a) - 0.5 \cdot (H_{i,j} + H_{i,j-1})}{j \cdot \Delta r} - \frac{j \cdot \Delta r}{2 \cdot R_з}\right)\right) \cdot 57.3$$

$$\alpha_{i,j} = arctg\left(\frac{H_{i,j} - h_a - h_{поз}}{j \cdot \Delta r} - \frac{j \cdot \Delta r}{2 \cdot R_з}\right) \cdot 57.3$$

$R_з$=8500 км - эквивалентный радиус Земли;

$h_{поз}$- высота позиции относительно среднего уровня местности;

h_a - высота подъема антенны относительно $h_{поз}$;

Δr - разрешающая способность РЛС по дальности;

$H_{i,j}$ – матрица высот подстилающей поверхности.

Углы скольжения и закрытия используются для расчета невидимых зон и зон скольжения. Все данные отображаются в визуальном интерфейсе, при этом возможно построение вида сбоку и вида сверху (по указанной высоте среза). Для удобства выбора позиции радара, предусматривается специальный интерфейс, изображающий карту высот и текущую позицию радара на ней.

Результаты. Полученный продукт позволяет выбирать наиболее оптимальное расположение радара на местности, а также наглядно демонстрирует все невидимые зоны и зоны скольжения для текущей позиции РЛС. Поверхность может задаваться следующими способами:

- Загрузка из внешнего файла формата txt или xml, например сформированного с помощью функционала основанного на Google Maps. Этот способ наиболее удобен для ввода наиболее точных данных. Также он позволяет получать карту высот любого участка земного шара, используя бесплатные ресурсы в интернете. В импортируемом файле задается таблица с указанием долготы, широты и высоты, которые затем автоматически считываются и обрабатываются программой.

- Ручное изменение данных матрицы высот через специальный интерфейс. Возможно задание больших участков, которые затем автоматически будут разбиваться на зоны минимальной длины, что существенно сокращает время задания данных.

- Визуальное редактирование поверхности с помощью мыши. В интерфейсе, отображающим поверхность сбоку, есть возможность добавления контрольных точек, который затем можно передвигать с помощью мыши, тем самым изменяя подстилающую поверхность. Данный способ, хоть и не предоставляет большую точность, но является наиболее наглядным для пользователя.

Для точного размещения радара на местности разработан интерфейс, строящий местность по заполненной карте высот и указывающий расположение радара с точными данными широты, долготы и высоты (рис. 1). Для удобства пользователя рядом с картой высот возможна загрузка изображения реального рельефа местности. Данный функционал позволяет точно определить позицию радара и разместить его на интересующей высоте.

Для наиболее наглядного отображения зон видимости разработано два интерфейса, изображающие карту невидимых областей сбоку и сверху (рис. 2). На виде сбоку отображается рельеф местности, а невидимые зоны обозначаются красными линиями. Вид сверху строится по срезу на указанной высоте, а различные зоны видимости отображаются цветами, указанными пользователем в настройках.

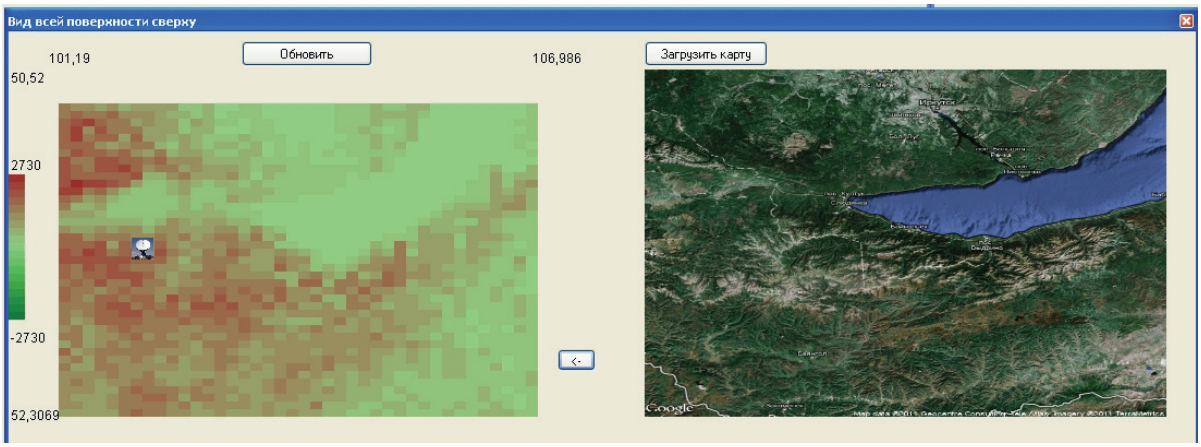


Рисунок 1. Интерфейс размещения радара

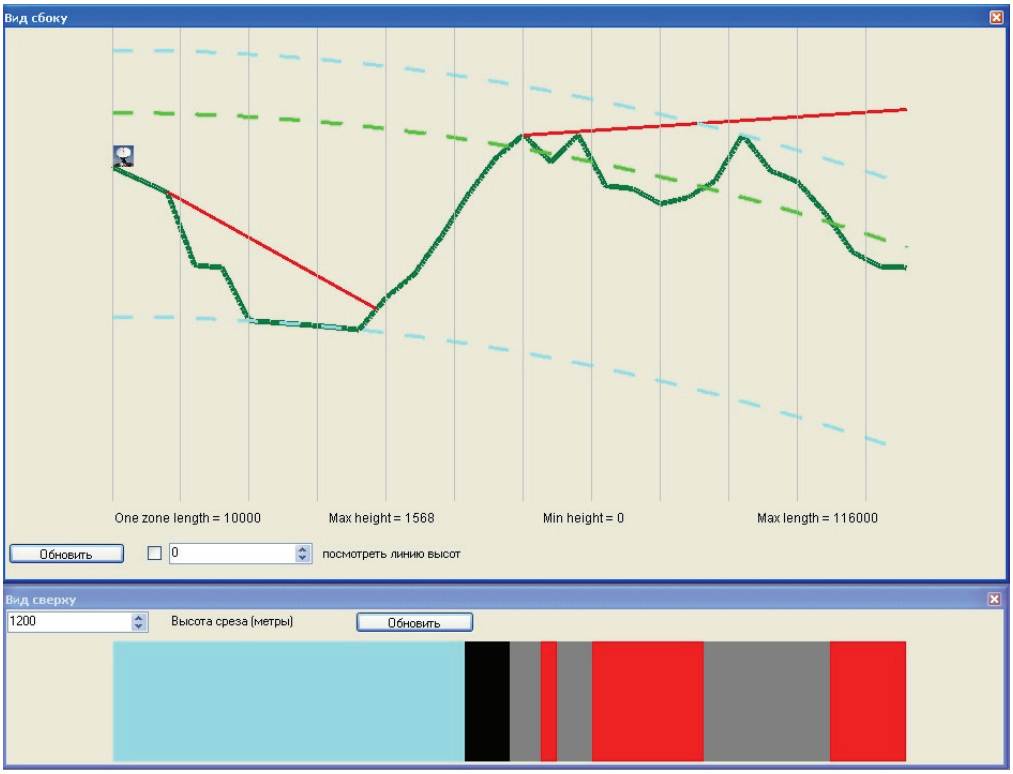


Рисунок 2. Вид сбоку и сверху

Выводы

1. Разработанная программа, позволяет получать данные из внешних источников, редактировать карты высот, размещать радар на поверхности, наглядно отображать невидимые зоны сверху и сбоку.
2. Представленный продукт дает возможность прогнозировать распространение сигнала как в реально существующих условиях, так и возможную коррекцию рельефа местности для получения оптимального практического результата.
3. Приведенные данные имеют практическое значение при планировании размещения радиолокационных объектов.

Список литературы

1. *Ширман Я.Д., Горшков С.А., Братченко Г.Д., Орленко В.М., Лещенко С.П.* Методы радиолокационного распознавания и их моделирование. – Зарубежная радиоэлектроника: успехи современной радиоэлектроники, 1996, № 11.

2. *Нотт.* Развитие методов расчета эффективной площади отражения радиолокационных целей. – ТИИЭР, 1985, № 2.

3. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник / *Ширман Я.Д., Лосев Ю.И., Горшков С.А. и др./под ред. Я.Д.Ширмана.* – М.: ЗАО «МАКВИС», 1998.

4. Комплексная имитационно-моделирующая установка для автоматизации научных исследований, моделирования и испытаний сложных радиотехнических систем. // Методическая инструкция.- Мн., 2000.- 20с.

5. *И.В. Душко, Д.Н. Ивлев, Д.Н. Кириллов.* Моделирование канала распространения радиосигнала РЛС ближнего действия. // Труды XIII научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2009.-С.79.

УДК 629.7

А.В. Болдырев, к.т.н, В.А. Комаров, д.т.н (Самарский государственный аэрокосмический университет (Национальный исследовательский университет), Россия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ В ПРОЕКТНЫХ ЗАДАЧАХ

Предлагается технология выбора силовой схемы и весового анализа конструкций с использованием специальной модели метода конечных элементов. Технология учитывает требования прочности, жесткости и устойчивости объектов, а также влияние их деформаций на аэродинамические нагрузки. Приводятся результаты решения ряда модельных и практических задач.

Рассматриваются следующие взаимосвязанные задачи, решаемые на ранних стадиях проектирования летательных аппаратов:

определяются нагрузки, действующие на конструкцию;

выбираются наиболее эффективные по массе силовые схемы;

определяются (прогнозируются) значения масс агрегатов.

Эти задачи приходится решать в условиях неопределенности, когда отсутствует необходимая информация об объекте проектирования, в частности, еще не известны деформации создаваемой конструкции. При этом обычно используются специфические для каждой задачи математические модели и данные о прототипах проектируемого изделия.

В сложившемся порядке проектирования самолетов на ранних этапах *задача определения нагрузок*, как правило, решается в предположении абсолютной жесткости конструкций. В то же время известно, что изгибные деформации, например, стреловидного крыла вызывают отрицательные изменения углов атаки в концевых сечениях крыла. Учет этих изменений может дать другое, более выгодное с точки зрения прочности, распределение нагрузки и соответствующее снижение массы конструкции. Для этого необходим достоверный прогноз переменных состояния разрабатываемых упругих систем.

Силовая схема конструкции определяется типом силовых элементов, их числом, расположением в пространстве и способами соединения между собой. Решения, связанные с выбором силовых схем, на практике зачастую принимаются эвристическими методами, на основании опыта и интуиции, а также с использованием результатов расчетов на упрощенных математических моделях. Более достоверное исследование свойств объекта проектирования с применением метода конечных элементов (МКЭ) при этом производится лишь в конце процесса его разработки на стадии проведения поверочных расчетов. С целью повышения качества проектов в работе [1] предложена технология формирования силовой схемы по условиям прочности с привлечением МКЭ еще до начала полномасштабной разработки конструкции на этапе рабочего проектирования.

Весовое проектирование конструкций часто основывается на использовании так называемых "весовых формул", получаемых из статистического анализа построенных самолетов и использующих упрощенную балочную теорию. В работе [2] предложен подход к весовому проектированию авиационных конструкций на основе конечно-элементных моделей и специфического критерия – силового фактора.

Современные авиационные конструкции традиционных форм близки к исчерпанию своих аэродинамических и весовых характеристик, поэтому во всем мире ведется интенсивный поиск новых технических решений. Характерными примерами результатов такого поиска могут служить телескопические крылья, самолеты интегральной компоновки, крылья малого удлинения необычной формы, исследования, направленные на поиск рациональных подкреплений тонкостенных конструкций в зонах больших вырезов и другие инновационные работы для которых еще не накоплены статистические данные, достаточные для использования традиционных методик проектирования.

Все это свидетельствует, во-первых, о *противоречии* между существующими способами проектирования и потребностью внедрения в конструкцию летательных аппаратов новых технических решений и, во-вторых, об *актуальности* вопроса разработки методики, использующей высокоточное математическое моделирование уже на этапе эскизного проектирования авиационных конструкций.

В настоящем исследовании предлагается развитие технологии проектирования [1,2], позволяющее решать указанные задачи на основе специальной модели МКЭ. На стадии эскизного проектирования конструкции еще не известны основные параметры сечений силовых элементов, которые определяются в процессе дальнейшей проработки объекта. В этих условиях для обоснованного выбора силовой схемы конструкции с учетом ограничений на эквивалентные напряжения, обобщенные перемещения и значения критических нагрузок, приводящих к выпучиванию упругой системы, может быть использована гипотетическая упругая среда переменной плотности, вписанная в геометрические ограничения разрабатываемого объекта.

Идея применения в процессе проектирования силовых конструкций материала с переменной по объему плотностью и жесткостью имеет четкий отечественный приоритет [3, 1]. Эта идея несколько позже [4, 5] использована в исследованиях зарубежных ученых в виде пористого специфического материала с переменными прочностными и упругими свойствами.

В настоящей работе используется материал [3, 1], для которого модуль упругости и прочностные характеристики пропорциональны плотности ρ:

$$E=\rho \underline{E}, \tag{1}$$

$$[\sigma] =\rho [\underline{\sigma}], \tag{2}$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала; $\underline{E}$ и $[\underline{\sigma}]$ – модуль упругости и допускаемое напряжение при единичной плотности.

Допустимая область объемом V, внутри которой может размещаться проектируемая конструкция, разбивается на n достаточно малых трехмерных конечных элементов. Непрерывная упругая среда со свойствами (1)-(2) (континуальная модель) потенциально содержит внутри заданных геометрических ограничений все мыслимые силовые схемы конструкции, которые могут быть образованы сгустками материала переменной плотности. Оптимизация распределения материала в континуальной модели позволяет определить проект, которому соответствует рациональная с точки зрения передачи усилий силовая схема конструкции.

Рассмотрена следующая оптимизационная задача. Минимизируется масса упругой среды при функциональных ограничениях на эквивалентные напряжения, обобщенные перемещения и критические усилия потери устойчивости. За проектные переменные принимается плотность материала в трехмерных конечных элементах.

В работе [1] обоснован выбор приближенного алгоритма решения этой задачи с использованием концепции полнонапряженности. В [6] предложен алгоритм решения задачи оптимизации с учетом ограничений по прочности и жесткости. Движение в области поиска осуществляется на основе последовательного чередования "пробных" и "рабочих" шагов. На этапе "пробных" шагов определяются значения проектных переменных на основе линейных аппроксимаций функциональных ограничений. "Рабочий" шаг характерен тем, что для него выполняется анализ напряженно-деформированного состояния и устойчивости конструкции в полном объеме. В работе [7] этот подход дополнен учетом ограничений на значения критических нагрузок, приводящих к потере устойчивости упругой системы.

Алгоритмы [1,6,7] реализованы на языке Visual Basic for Applications в среде прикладного программного интерфейса МКЭ-системы NASTRAN. Для испытания работоспособности алгоритма и программного обеспечения проведено исследование на специально подобранных тестовых задачах, показавшее удовлетворительную сходимость

алгоритма. Для практических целей оказалось достаточно 10 – 30 "рабочих" шагов алгоритма.

В качестве примера приведем результаты оптимизации центрально сжатых стержней, полученные с учетом ограничений на напряжения и критические усилия потери устойчивости. На рис. 1 показано распределение материала в серединном поперечном сечении стержней для двух вариантов допустимой геометрической области – цилиндрической и призматической.

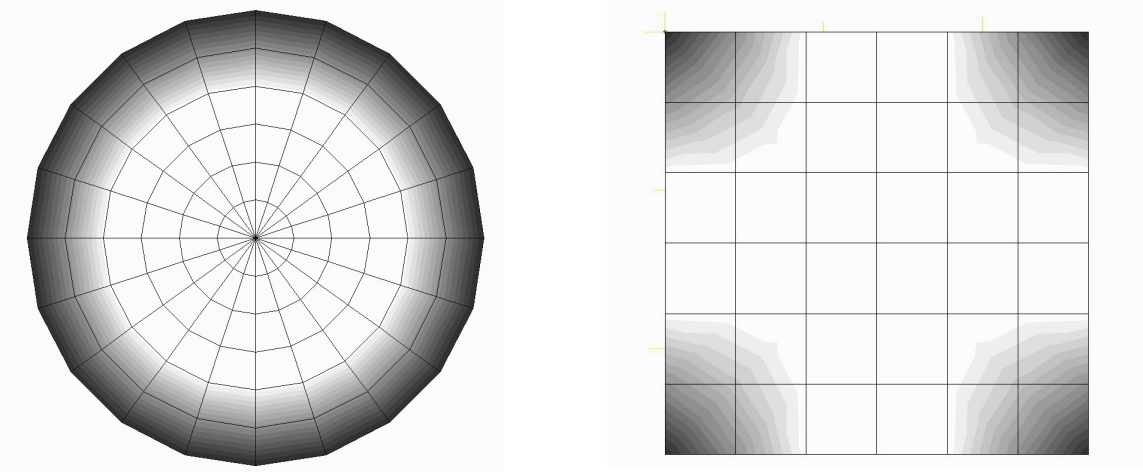


Рис. 1. Распределение плотности в сжатых стержнях

Анализ распределения материала и основных путей передачи сил в теоретически оптимальной континуальной конструкции, полученных по алгоритмам [1,6,7], позволяет, во-первых, разработать варианты рациональных силовых схем с использованием стратегии [1], во-вторых, спрогнозировать массу конструкции на основе подхода [2] с учетом статической аэроупругости [8,9], а также широкого спектра функциональных ограничений и конструктивно-технологических требований.

В настоящей работе рассматриваются задачи проектирования стреловидных крыльев, несущих поверхностей малого удлинения [10], в том числе круглого в плане крыла, фюзеляжей в зоне больших вырезов. На рис. 2 представлено распределение плотности в крыльях малого удлинения различной формы в плане. Все эти крылья имеют одинаковые значения относительного удлинения и площади в плане. Для несущих поверхностей используется симметричный профиль NACA0012 с относительной толщиной 12%.

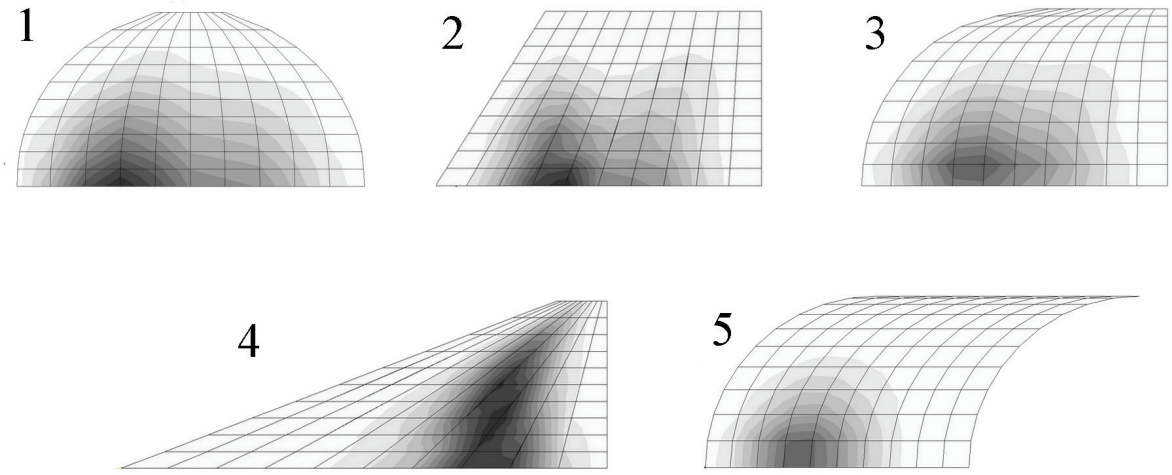


Рис. 2. Распределение материала в теоретически оптимальных крыльях

При проектировании стреловидного крыла удалось выявить дополнительные элементы и места их расположения [11], позволяющие уменьшить угол закручивания концевого сечения крыла на 32% при увеличении массы полнонапряженной конструкции на 2%.

Исследования на континуальной модели отсека фюзеляжа с прямоугольным вырезом позволили выявить новое техническое решение, для которого теоретически необходимая масса материала для компенсации выреза на 14% меньше, чем для традиционного варианта силовой схемы.

Вопросы адекватности континуальной модели рассмотрены в работе [12].

Выводы

Идея модели переменной плотности использована в развитии технологии проектирования летательных аппаратов. Для обоснованного выбора рациональной силовой схемы и достоверной оценки массы разрабатываемой конструкции технология учитывает функциональные ограничения по прочности, жесткости и устойчивости, а также зависимость распределения аэродинамических нагрузок от деформаций упругой системы.

Виртуальные эксперименты с использованием континуальной модели переменной плотности позволяют эффективно решать рассматриваемые задачи на ранних стадиях проектирования летательных аппаратов. Опыт показывает, что трудоемкость создания трехмерных континуальных моделей с использованием соответствующих генераторов сеток во много раз меньше, чем создание конечно-элементных моделей тонкостенных каркасированных авиационных конструкций с известными проблемами геометрической изменяемости.

Новая технология проектирования позволяет на ранних этапах разработки выявить и реализовать существенные резервы снижения массы авиационных конструкций.

Список литературы

1. *Комаров В.А.* Проектирование силовых схем авиационных конструкций // Актуальные проблемы авиационной науки и техники. М.: Машиностроение, 1984. С.114-129.
2. *Комаров В.А.* Весовой анализ авиационных конструкций: теоретические основы // Полет. 2000. №1. С. 31-39.
3. *Комаров А.А.* Основы проектирования силовых конструкций. Куйбышев: Куйбышевск. книж. изд-во, 1965. 82 с.
4. Bendsoe M.P., Kikuchi N. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1988. V. 71. P. 197–224.
5. Eschenauer H.A., Olhoff N. Topology optimization of continuum structures: A review // Appl. Mech. Rev. 2001. V. 54. № 4. P. 331-389.
6. Болдырев А.В. Структурная оптимизация крыльев с учетом требований прочности и жесткости // Вестник МАИ. 2009, Т16, № 3, С. 15-21.
7. Болдырев А.В. Развитие технологии проектирования авиационных конструкций на основе модели переменной плотности // Полет**.** 2009. № 11. С. 23-28.
8. Болдырев А.В., Комаров В.А., Лаптева М.Ю., Попович К.Ф. Учет статической аэроупругости на ранних стадиях проектирования // Полет. 2008. № 1. С. 34–39.
9. Болдырев А.В., Комаров В.А. Структурная оптимизация несущих поверхностей с учетом статической аэроупругости // Известия вузов. Авиационная техника. 2008. № 2. С. 3-6.
10. Болдырев А.В. Весовой анализ крыльев нетрадиционной конфигурации // Полет**.** 2009. № 10. С. 57-60.
11. Болдырев А.В. Структурная модификация тонкостенных конструкций с учетом требований жесткости // Проблемы прочности и пластичности. 2008. Вып. 70. С. 175-183.

Болдырев А.В., Комаров В.А., Лаптева М.Ю. Об оценке точности прогнозирования деформаций крыла на основе модели переменной плотности // Вестник КГТУ. 2009. № 3. С. 13-15.

UDC 517.693

T.Ju. Bohonova
(National Aviation University, Ukraine)
V.B. Vasylyk, candidate of physical-mathematical sciences
(Institute of Mathematics of NAS of the Ukraine, Ukraine)

TWO-POINTS PROBLEM FOR AN EVOLUTION FIRST ORDER EQUATION IN BANACH SPACE

The two-point problem nonlocal problem for the first order differential evolution equation with an operator coefficient in a Banach space X is considered. An exponentially convergent algorithm is proposed and justified in assumption that the operator coefficient is strongly positive and some existence and uniqueness conditions are fulfilled. The algorithm provides exponentially convergence in time that in combination with fast algorithm on spatial variables can be efficient treating such problems.

1. Introduction

We consider two-point nonlocal problem for the first order differential evolutional equation with an operator coefficient in a Banach space X

$$\begin{aligned} &\frac{du(t)}{dt} + A_1(t)u(t) = f_1(t), \\ &u(-1) + \alpha u(1) = \varphi, \end{aligned} \tag{1.1}$$

where $A_1(t)$ is a densely defined closed (unbounded) operator with the domain $D(A_1)$ independent of t in the Banach space X, φ is given vector and $f_1(t)$ is given vector-valued function, $\alpha \in \square$. We suppose that the operator $A_1(t)$ is strongly positive and the following assumptions are fulfilled: $\exists c_k, \omega > 0$ such that

$$\left\| A_1^k(t) e^{-sA_1(t)} \right\| \le c_k s^{-k}, \; s > 0, \; k > 0 \tag{1.2}$$

$$\left\| e^{-sA_1(t)} \right\| \le e^{-\omega s} \;\; \forall \; s,t \in [-1,1] \tag{1.3}$$

$$\left\| \left(A_1(t) - A_1(s) \right) A_1^{-\gamma}(t) \right\| \le L_{1,\gamma} \left| t - s \right|, \; \forall t,s, 0 \le \lambda < 1, \tag{1.4}$$

$$\left\| A_1^{-\gamma}(t) A_1^{-\gamma}(s) - I \right\| \le L_\gamma \left| t - s \right|, \; \forall t,s \in [-1,1]. \tag{1.5}$$

$$f_1(t) \in C\left([-1,1]; X \right) \tag{1.6}$$

2. Numerical algorithm

We use the approach developed in [1] and [2] to construct numerical method for solving problem (1.1). We choose a mesh $\omega_k = \{ t_k, \; k = 0,...,n \}$ of $n+1$ various points on $[-1,1]$ that are Chebyshev-Gauss-Lobatto nodes $t_k = \cos\left(\frac{n-k}{n} \pi \right)$, and set $\tau_k = t_k - t_{k-1}$. Let

$$\bar{A}(t) = A_k = A(t_k), t \in (t_{k-1}, t_k], k = 1,...,n, \\ A_0 = A(-1) \tag{2.2}$$

We rewrite the problem (2.1) in the equation form

$$\frac{dv(t)}{dt} + \bar{A}(t)v(t) = \left(\bar{A}(t) - A(t)\right)v(t) + f(t), t \in (-1,1) \\ u(-1) + \alpha u(1) = \varphi, \tag{2.3}$$

On each subinterval we can write down the equivalent to (2.3) integral equation

$$v(t) = e^{-A_k(t-t_{k-1})}v(t_{k-1}) + \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{-A_k(t-s)}\left(A_1 - A(t)\right)v(s)ds + \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{-A_k(t-s)}f(s)ds, \\ t \in [t_{k-1}, t_k], k = 2,...,n, \tag{2.4}$$

$$v(t) = e^{-A_1(t+1)}(\varphi - \alpha v(1)) + \int_{-1}^{t} e^{-A_1(t-s)}\left(A_1 - A(t)\right)v(s)ds + \int_{-1}^{t} e^{-A_1(t-s)}f(s)ds, \\ t \in [-1, t_1] \tag{2.5}$$

Let

$$P_n(t; v) = P_n v = \sum_{j=0}^{n} v(t_j)L_{j,n}(t) \tag{2.6}$$

be the interpolation polynomial for $v(t)$ on the mash $\omega_n, x = (x_0,...,x_n), x_i \in X$ given vector and

$$P_n(t; y) = P_n x = \sum_{j=0}^{n} x_j L_{j,n}(t) \tag{2.7}$$

The polynomial that interpolate x, where

$$L_{j,n}(s) = \frac{T_n'(s)(1-s^2)}{\frac{d}{ds}\left(\left(1-s^2\right)T_n'(s)\right)\Big|_{s=s_j}\left(s - s_j\right)}, \; j = 0,...,n$$

are the Lagrange fundamental polynomials. Substituting $P_n(s; x)$ for $v(s), x_k$ for $v(t_k)$ and then setting $t = t_k$ in (2.4) we arrive at the following system of linear equations with respect to the unknown x_k

$$
\begin{aligned}
&x_0 + \alpha x_n = \varphi, \\
&x_k = e^{-A_k \tau_k} x_k + \sum_{j=0}^{n} \alpha_{k_j} x_j + \phi_k,\ k = 1, ..., n,
\end{aligned}
\tag{2.8}
$$

wich represents our algorithm. Here we use the notation

$$
\begin{aligned}
&\alpha_{kj} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{-A_k (t_k - s)} \left(A_k - A(s) \right) L_{j,n}(s) ds + \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{-A_k (t-s)} f(s) ds, \\
&\varphi_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{-A_k (t-s)} f(s) ds,\ k = 1, ..., n,\ j = 0, ..., n,
\end{aligned}
\tag{2.9}
$$

and suppose that we have algorithm to compute these coefficients.
For the error $z = (z_1, ..., z_n)$, with $z_k = v(t_k) - x_k$ we have the relations

$$
\begin{aligned}
&z_0 + \alpha z_n = 0, \\
&z_k = e^{-A_k \tau_k} z_{k-1} + \sum_{j=0}^{n} \alpha_{k_j} z_j + \psi_k,\ k = 1, ..., n,
\end{aligned}
\tag{2.10}
$$

Where

$$
\psi_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{-A_k (t_k - s)} \left(A_k - A(s) \right) \left(v(s) - P_n(s; v) \right) ds,\ \ k = 1, ..., n \tag{2.11}
$$

In order to represent algorithm (2.8) in a block-matrix form we introduce the matrix

$$
S = \begin{pmatrix}
I & 0 & 0 & . & . & . & 0 & \alpha\sigma_0 \\
-\sigma_1 & I & 0 & . & . & . & 0 & 0 \\
0 & -\sigma_2 & I & . & . & . & 0 & 0 \\
. & . & . & . & . & . & . & . \\
0 & 0 & 0 & . & . & . & -\sigma_n & I
\end{pmatrix}
\tag{2.12}
$$

where $\sigma_0 = A_0^{\gamma} A_n^{-\gamma}, \sigma_k = e^{A_k \tau_k} A_k^{\gamma} A_{k-1}^{-\gamma}, k = 1, ..., n$, the matrix $B = \left\{ \bar{\alpha}_{k,j} \right\}_{k,j=0}^{n}$ with

$\bar{\alpha}_{k,j} = A_k^{\gamma}\ \alpha_{k,j}\ A_j^{-\gamma}, k = 1, ..., n; j = 0, ..., n$ and $\alpha_{0,j} = 0, j = 0, ..., n$, the vectors

$$
\bar{x} = \begin{pmatrix} A_0^{\gamma} x_0 \\ A_1^{\gamma} x_1 \\ . \\ . \\ . \\ A_n^{\gamma} x_n \end{pmatrix},\ \phi = \begin{pmatrix} A_0^{\gamma} \varphi \\ A_1^{\gamma} \phi_1 \\ . \\ . \\ . \\ A_n^{\gamma} \phi_n \end{pmatrix},\ \bar{z} = \begin{pmatrix} A_0^{\gamma} z_0 \\ A_1^{\gamma} z_1 \\ . \\ . \\ . \\ A_n^{\gamma} z_n \end{pmatrix}, \psi = \begin{pmatrix} 0 \\ A_1^{\gamma} \psi_1 \\ . \\ . \\ . \\ A_n^{\gamma} \psi_n \end{pmatrix}
\tag{2.13}
$$

We multiply the equations in (2.8) and the equation in (2.10) by $A_k^{\lambda}, k = 0,...,n$ and obtain

$$\begin{aligned} &A_0^{\gamma} x_0 + \alpha A_0^{\gamma} x_n = A_0^{\gamma} \varphi, \\ &A_k^{\gamma} x_k = e^{-A_k \tau_k} A_k^{\gamma} x_{k-1} + \sum_{j=0}^{n} \bar{\alpha}_{k_j} A_j^{\gamma} x_j + A_k^{\gamma} \phi_k, \; k = 1,...,n, \end{aligned} \tag{2.15}$$

$$\begin{aligned} &A_0^{\gamma} z_0 + \alpha A_0^{\gamma} z_n = 0, \\ &A_k^{\gamma} z_k = e^{-A_k \tau_k} A_k^{\gamma} z_{k-1} + \sum_{j=0}^{n} \bar{\alpha}_{k_j} A_j^{\gamma} z_j + A_k^{\gamma} \psi_k, \; k = 1,...,n, \end{aligned} \tag{2.16}$$

We have constructed an exponentially convergent algorithm. This algorithm leads to a system of linear equations that can be solved by fixed-point iteration. The algorithm provides exponentially convergence in time that in combination with fast algorithms on spatial variables variables can be efficient treating such problems. The following theorem is valid.

Theorem 1. Under the given assumptions there exists a positive constant c such that for the error of our method the following estimate

$$\left\| \tilde{z} \right\| \le c n^{\gamma - 1} \ln(n) E_n \left(A_0^{\gamma} v \right) \tag{2.17}$$

holds true for n large enough, where v is the solution of (1), with the error of the best approximation of u by polynomials of degree not greater then n

$$\left\| E_n (u) \right\| = \inf_{p \in \Pi_n} \max_{t \in [-1,1]} \left\| u(t) - p(t) \right\|. \tag{2.18}$$

The efficiency of the proposed algorithm is demonstrated by numerical examples.

References

[1] *I.P. Gavrilyuk and V.L. Makarov.* Algorithms without accuracy saturation for evolution equations in Hilbert and Banach spaces. Math. Comp., 74:555{583, 2005.

[2] *T.Ju.Bohonova, I.P.Gavrilyuk, V.L.Makarov, and V.B.Vasylyk*. Exponentially convergent Duhamel like algorithms for differential equations with an operator coefficient possessing a variable domain in a Banach space. SIAM J. Numer. Anal., 46(5):365{396, 2007/08.

УДК: 621.787:539.319

А.В. Чирков, ассистент, В.П. Сазанов, ассистент,
О.Ю. Семёнова, аспирантка, А.В. Иванова, аспирантка,
(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Россия)

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ ПО ПЕРВОНАЧАЛЬНЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ

Проведено моделирование остаточного напряжённо-деформированного состояния цилиндрической детали с круговым надрезом полукруглого профиля после опережающего поверхностного пластического деформирования методом первоначальных деформаций.

Для практики проектирования машиностроительных конструкций весьма важным вопросом определения их работоспособности является решение задачи о перераспределении остаточных напряжений в деталях после нанесения концентратора на поверхностно упрочнённый слой.

Решение указанной задачи для цилиндрической детали в настоящем исследовании предлагается выполнять в следующей последовательности:

– определение распределения остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя в гладкой детали;

– расчёт распределения остаточных напряжений в детали с концентратором в виде полукруглого надреза с использованием специализированных расчётных комплексов, реализующих метод конечных элементов в форме перемещений.

Распределение остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя гладкой детали находится экспериментально методом колец и полосок [1, 2]. Этот метод достаточно обоснован и отработан для применения в лабораторных условиях. Применение расчётных комплексов типа MSC.Nastran\MSC.Patran при определении остаточных напряжений в зоне концентратора после опережающего поверхностного пластического деформирования по первоначальным деформациям основано на сведении задачи теории упругости к температурной задаче теории термоупругости [1, 3].

Приведём основные зависимости расчёта остаточных напряжений методом конечных элементов по изотропным первоначальным деформациям в упругой постановке. В общем случае материал, находящийся внутри элемента, может получать первоначальные деформации, обусловленные различными факторами. Если обозначим, пропорциональную первоначальным деформациям матрицу через $\{\varepsilon_0\}$, то напряжения $\{\sigma\}$ в соответствии с законом Гука

$$\{\sigma\} = [D](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}), \tag{1}$$

где $[D]$ – матрица упругости, содержащая характеристики материала,

$\{\varepsilon\}$ – матрица полной деформации,

$$[D] = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\mu}{1-\mu} & 0 \\ \frac{\mu}{1-\mu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \end{bmatrix}, \tag{2}$$

E – модуль продольной упругости материала,

μ – коэффициент Пуассона.

В случае осесимметричной задачи, рассматриваемой в настоящем исследовании,

$$\{\sigma\}^T = [\sigma_r, \sigma_z, \sigma_\theta, \tau_{rz}], \tag{3}$$

$$[D] = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\mu}{1-\mu} & \frac{\mu}{1-\mu} & 0 \\ \frac{\mu}{1-\mu} & 1 & \frac{\mu}{1-\mu} & 0 \\ \frac{\mu}{1-\mu} & \frac{\mu}{1-\mu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \end{bmatrix}, \tag{4}$$

$$\{\varepsilon\}^T = [\varepsilon_r, \varepsilon_z, \varepsilon_\theta, \gamma_{rz}], \tag{5}$$

$$\{\varepsilon_0\} = \varepsilon_{00} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} (1+\mu), \tag{6}$$

где ε_{00} – величина изотропной первоначальной деформации.

Связь между деформациями и перемещениями в этом случае имеет следующий вид:

$$\{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_z \\ \varepsilon_\theta \\ \gamma_{rz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial U_r}{\partial r} \\ \frac{\partial U_z}{\partial z} \\ \frac{U_r}{r} \\ \frac{\partial U_r}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial r} \end{bmatrix}. \tag{7}$$

Если в качестве первоначальных рассматривать температурные деформации, то

$$\{\varepsilon_0\} = \alpha T \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} (1+\mu). \tag{8}$$

В связи с тем, что температурный коэффициент линейного расширения α есть величина постоянная, то при отсутствии действия внешних сил на свободное тело в области, удалённой от краевых зон, существует прямая зависимость между температурным полем и напряжениями. Причём в свободном теле температурные деформации, вызывающие напряжения, возникают только при неравномерном температурном поле.

Данные выводы являются важными с точки зрения использования современных расчётных комплексов, реализующих метод конечных элементов в форме перемещений, для моделирования напряжённо-деформированного состояния деталей и образцов, которые имеют упрочнённый поверхностный слой с известным распределением остаточных напряжений по его толщине *a*. При решении таких задач зависимость $\sigma = \sigma(a)$ заменяется зависимостью $T = T(a)$ в виде математического выражения или в табличной форме. Положительные значения перепада температур соответствуют сжатию, отрицательные – растяжению.

Возможность использования материалов, изотропных по упругим свойствам, но с разными температурными коэффициентами линейного расширения по направлениям выбранной системы координат, позволяет моделировать любое заранее известное распределение остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя.

Решение задачи для образцов и деталей различного поперечного сечения даже при одних и тех же виде и форме концентратора подвержено разному влиянию краевого эффекта,

жёсткости образца (детали). Моделирование поверхностного упрочнённого слоя обусловлено ещё и тем, что толщина упрочненного слоя *a*, на которой необходимо задать распределение остаточных напряжений, весьма мала и составляет 0,3-0,8 мм.

Для апробации методики определения перераспределения остаточных напряжений в цилиндрических деталях при нанесении надреза использовались реальные задачи, решённые по более ранним методикам аналитическим способом [4] и методом конечных элементов [5]. В данной работе в качестве примера приведено исследование остаточного напряжённо-деформированного состояния цилиндрического образца диаметром $D = 15$ мм из стали 45. Гладкий образец упрочнялся дробью, после упрочнения на него наносился концентратор в виде кругового надреза полукруглого профиля радиусом $R = 0{,}3$ мм. В результате нанесения надреза в образце происходит перераспределение остаточных напряжений. Методом колец и полосок [2], а также методом удаления части цилиндрической поверхности [6] была получена исходная эпюра осевых остаточных напряжений σ_z для гладких образцов, представленная на рис. 1.

В силу симметрии образца относительно оси, а также относительно середины надреза, в качестве расчётной модели представляется возможным использовать четверть осевого сечения образца и рассматривать задачу в плоской осесимметриной постановке.

Было проведено исследование задания видов нагружения, результаты которого представлены на рис. 2 и в табл. 1. Из данных табл. 1 видно, что применение степенной функции нецелесообразно, так как это увеличивает время расчёта, а точность повышается незначительно по сравнению с другими функциями задания эпюры. Ступенчатая функция даёт значения остаточных напряжений со скачками, что вполне объяснимо, так как значения напряжений пропорциональны деформациям. Однако, для моделирования плавной эпюры остаточных напряжений использование ступенчатой функции нежелательно в связи с тем, что для получения более ровного графика необходимо уменьшать шаг значений глубины залегания остаточных напряжений, что, в свою очередь, ведёт к уменьшению размера элемента, и, следовательно, к бóльшим затратам вычислительной мощности, то есть времени расчёта. Использование кусочной функции с линейной аппроксимацией на участках даёт практически совпадающие с предыдущими расчётами результаты, как на поверхности дна надреза, так и по толщине поверхностного слоя a. Следовательно, по точности и времени расчёта эта функция является наиболее оптимальной для данной задачи, поэтому в дальнейшем использовалась именно она.

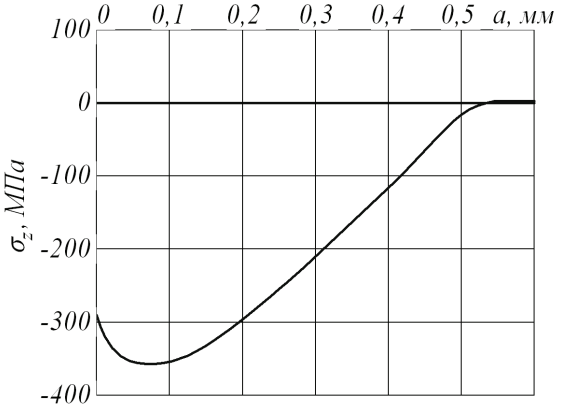


Рис. 1. Исходная эпюра осевых остаточных напряжений σ_z, полученная для гладких образцов

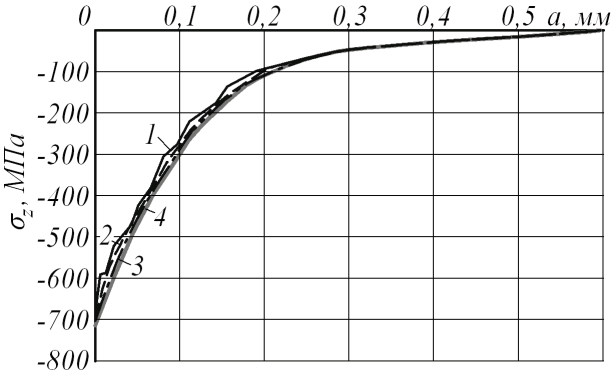


Рис. 2. Эпюры суммарных остаточных напряжений σ_z по толщине поверхностного слоя *a* в области дна надреза, полученные при различных функциях задания нагружения: *1* – ступенчатая, *2* – кусочная, с линейной аппроксимацией на участках, *3* – степенная, *4* – полученная по более ранним методикам

Таблица 2 – Сравнение различных функций задания распределения остаточных напряжений

Параметр	Функции задания исходной эпюры			Полученные по более ранним методикам [8]
	ступенчатая	кусочная с линейной интерполяцией	степенная	
напряжение на дне надреза σ_z, МПа	-680	-700	-709	-712
глубина смены знака напряжений, мм	0,589	0,592	0,593	0,595

поэтому в дальнейшем использовалась именно она.

После уточнения эпюры было получено значение осевых остаточных напряжений на дне надреза σ_z = -704 МПа, что хорошо согласуется с полученным в работе [5] значением -712 МПа. Глубина смены знака остаточных напряжений составляет $a = 0{,}593$ мм, что опять согласуется с $a = 0{,}595$ мм работы [5].

Выводы

1. С использованием метода конечных элементов и обобщённых критериев распределения остаточных напряжений впервые решена задача по определению остаточных напряжений в цилиндрических образцах с круговыми надрезами полукруглого профиля за счёт перераспределения остаточных усилий после опережающего поверхностного пластического деформирования по первоначальным деформациям для образцов и деталей различного диаметра, что даёт возможность точного прогнозирования приращения предела выносливости.

2. На базе широкого теоретического исследования математической модели перераспределения остаточных напряжений, вызванных опережающим поверхностным пластическим деформированием в деталях и образцах различного диаметра по первоначальным деформациям, найдены оптимальные параметры расчёта суммарных остаточных напряжений, которые дают возможность существенно сократить время расчётов в системе MSC.Nastran\MSC.Patran.

Список литературы

1. *Биргер И.А.* Остаточные напряжения / И.А. Биргер. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.

2. *Иванов С.И.* К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып.53. – С. 32-42.

3. *Павлов В.Ф., Столяров А.К., Вакулюк В.С. и др.* Расчёт остаточных напряжений в деталях с концентраторами напряжений по первоначальным деформациям // моногр. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 124 с.

4. *Иванов С.И., Шатунов М.П., Павлов В.Ф.* Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций: Куйбышев, КуАИ. – 1974. – Вып.1. – С. 88-96.

5. *Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Иванов В.Б.* Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 64 с.

6. *Иванов С.И., Григорьева И.В.* К определению остаточных напряжений в цилиндре методом снятия части поверхности // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып.48. – С. 179-183.

УДК 532.3:534.1

Олександр О. Сіренко (Університет «КРОК», Україна)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРУ АЛМАЗНОГО МІКРОТОЧІННЯ

На основі математичної теорії планування експерименту розглянуто розв'язок задачі ідентифікації параметрів вібрацій як характеристики режиму алмазного мікроточіння та технологічного обладнання. Отримана математична модель амплітуди коливання різця у вертикальній площині у вигляді функції подачі та глибини різання $A_i = f(S,t)$.

Обов'язковою умовою отримання високої точності та низької шорсткості обробленої поверхні при застосуванні високопродуктивних режимів є стійкість руху при різанні. Для цього технологічна система верстат – пристрій – інструмент – деталь (ВПІД) повинна бути стійкою по відношенню до вібрацій та не припускати суттєвих коливань. Спостереження виявили, що в залежності від умов обробки вимушені коливання деталі та інструменту можуть бути низькочастотними або високочастотними; виникають вони або одночасно або незалежно одне від одного. Як правило, низькочастотні коливання має деталь, а високочастотні – інструмент. Погіршуючи якість обробки, вимушені коливання певної амплітуди та частоти можуть одночасно знизити стійкість інструменту.

Самозбуджені коливання або автоколивання виникають за відсутності видимих зовнішніх причин. До них належать такі, в яких змінна сила, що підтримує коливальний процес, створюється та керується самими коливаннями. При усуненні коливань зникає і сила, яка збуджує та регулює коливання.

При різанні збудником автоколивань є неоднозначна сила різання при вході лезового інструменту в деталь і відштовхуванні від неї. При наявності в системі деталь – інструмент самозбудження мале коливання, що випадково виникає, посилюється до деякої сталої величини з амплітудою, при якій настає рівновага між енергією, що підтримує коливання, і енергією розсіювання [1-5]. Амплітуда коливань на відміну від частоти залежить не лише від маси та жорсткості коливальної системи, але й від роду матеріалу деталі, що обробляється, геометричних параметрів інструменту (переднім кутом різця γ, заднім кутом різця α, радіусом загострення ріжучої кромки ρ, радіусом різця в плані r) та режиму різання (швидкості різання V, подачі S, глибини різання t). Постійність частоти та змінність амплітуди коливань при зміні умов різання свідчать про автоколивальну природу вібрацій [1,4].

Математична теорія планування експерименту, яка в теоретичному відношенні базується на методах теорії ймовірностей та математичної статистики [6], дозволяє розв'язувати задачі побудови потрібних експериментально-статистичних моделей параметрів процесу алмазного мікроточіння (АМТ) навіть за умови неповного знання внутрішніх закономірностей. Отримана математична модель може успішно використовуватися для виявлення таких взаємозв'язків процесу АМТ, які раніше не досліджувалися. Також при розв'язуванні задачі оптимізації процесу АМТ математична модель дозволяє знайти сукупність вхідних керованих змінних (факторів), при яких оптимізована цільова функція приймає екстремальне значення.

Постановка задачі

Метою даної роботи є побудова математичної моделі амплітуди коливань у вертикальній площині, що представлена функцією подачі та глибини різання для технологічної системи ВПІД з визначеними динамічними параметрами, визначеного матеріалу поверхні, що обробляється, інструменту із заданими геометричними параметрами, оптимальної швидкості різання.

Алгоритм ідентифікації параметрів вібрації як характеристики режиму алмазного мікроточіння та технологічного обладнання

Актуальною задачею є побудова математичної моделі амплітуди коливань у вертикальній площині, що представлена функцією подачі та глибини різання [1,4]. Для побудови експериментально-статистичних моделей процесу АМТ задача формулюється наступним чином: потрібно отримати деякі відомості про функцію відгуку $\eta = \varphi(x_1, x_2, \ldots, x_k)$, де η – параметр процесу, що підлягає дослідженню, $x_1, x_2, \ldots, x_k$ – незалежні змінні, які варіюються при проведенні експериментів.

Використовуючи результати експериментів, можна визначити окремі коефіцієнти регресії b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}, які є оцінками теоретичних коефіцієнтів $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}$. Рівняння регресії, яке отримується на базі досліду, запишеться в наступному вигляді ($\hat{y}$ – вибіркова оцінка для η):

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{i<j}^{k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{k} b_{ii} x_i^2 + \ldots$$

Для заданого режиму різання (подачі S, глибини різання t, швидкості різання V) та інструменту із заданими геометричними параметрами (переднім кутом різця γ, заднім кутом різця α, радіусом загострення ріжучої кромки ρ, радіусу різця в плані r) маємо різні значення амплітуди коливання різця у вертикальній площині A_i [4]. Алгоритм дозволяє отримати математичну модель $A_i = f(S, t)$. В якості ріжучого інструменту використовувався радіусний алмазний різець з наступними геометричними параметрами: радіус в плані $r = 2$ мм; передній кут $\gamma = -3{,}5^\circ$; задній кут $\alpha = 5^\circ$; радіус загострення ріжучого краю $\rho = 0{,}02$ мкм. Матеріал, що обробляється – сплав міді.

Величини рівнів та інтервали варіювання факторі наводяться в табл. 1.

Таблиця 1

Повний факторний експеримент (планування типу 2^2). Рівні та інтервали варіювання факторів.

Фактори	Рівні			Інтервали варіювання
	Основний (0)	Верхній (+1)	Нижній (-1)	
x_1 – подача (S), мкм/об	12,5	20	5	7,5
x_2 – глибина різання (t), мкм	10	15	5	5

Обробка експериментальних даних виконується у відповідності до даного алгоритму планування експерименту. Матриця планування експерименту та результати вимірів *y* наводяться в табл. 2. Оскільки зміна відгуку y_{gk} має випадковий характер, то в кожній точці доводиться проводити *m* паралельних дослідів і результати спостережень осереднювати:

$$\bar{y}_g = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m} y_{gk} \quad (1)$$

В нашому прикладі $m = 6$. Для кожної точки z_1, z_2, z_3, z_4 проводимо шість дослідів. Результати обчислень за формулою (1) записуємо в останній стовпчик табл. 2.

Таблиця 2.

Планування експерименту типу 2^2.

Номер досліду	Матриця планування X				$y_{gk}(A_i)$						$\bar{y}_g$, мкм
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2							
1	+1	-1	-1	+1	0,011	0,01	0,011	0,009	0,011	0,009	0,010
2	+1	+1	-1	-1	0,014	0,013	0,014	0,015	0,013	0,014	0,0138
3	+1	-1	+1	-1	0,012	0,013	0,013	0,012	0,011	0,012	0,0122
4	+1	+1	+1	+1	0,016	0,015	0,016	0,016	0,017	0,015	0,0158

Перевіримо виконання передумови регресійного аналізу про однорідність вибіркових дисперсій s_g^2, тобто проведемо перевірку відтворення експерименту. Перевіримо гіпотезу про рівність генеральних дисперсій $\sigma^2\{y_1\}=\sigma^2\{y_2\}=\ldots=\sigma^2\{y_N\}$ при дослідах відповідно в точках $z_1, z_2, \ldots, z_N$. Оцінки дисперсій можуть бути отримані за формулою:

$$s_g^2 = \frac{1}{m-1}\sum_{k=1}^{m}\left(y_{gk}-\bar{y}_g\right)^2 .$$

(2)

Результати обчислень s_g^2 запишемо в табл. 3. Значення суми $\sum s_g^2 = 2{,}704\cdot10^{-6}$.

Таблиця 3.

Розрахункова таблиця.

№	y	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$	$\sum$	s_g^2
1	y_{gk}	0,011	0,010	0,011	0,009	0,012	0,010	$5{,}0\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$
	$y_{gk}-\bar{y}_g$	$0{,}5\cdot10^{-3}$	$-0{,}5\cdot10^{-3}$	$0{,}5\cdot10^{-3}$	$-1{,}5\cdot10^{-3}$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	$-0{,}5\cdot10^{-3}$		
	$\left(y_{gk}-\bar{y}_g\right)^2$	$1{,}0\cdot10^{-6}$	0	$1{,}0\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$		
2	y_{gk}	0,014	0,013	0,014	0,015	0,013	0,014	$2{,}84\cdot10^{-6}$	$0{,}568\cdot10^{-6}$
	$y_{gk}-\bar{y}_g$	$0{,}2\cdot10^{-3}$	$-0{,}8\cdot10^{-3}$	$0{,}2\cdot10^{-3}$	$1{,}2\cdot10^{-3}$	$-0{,}8\cdot10^{-3}$	$0{,}2\cdot10^{-3}$		
	$\left(y_{gk}-\bar{y}_g\right)^2$	$0{,}04\cdot10^{-6}$	$0{,}64\cdot10^{-6}$	$0{,}04\cdot10^{-6}$	$1{,}44\cdot10^{-6}$	$0{,}64\cdot10^{-6}$	$0{,}04\cdot10^{-6}$		
3	y_{gk}	0,012	0,013	0,013	0,012	0,011	0,012	$2{,}84\cdot10^{-6}$	$0{,}568\cdot10^{-6}$
	$y_{gk}-\bar{y}_g$	$-0{,}2\cdot10^{-3}$	$0{,}8\cdot10^{-3}$	$0{,}8\cdot10^{-3}$	$-0{,}2\cdot10^{-3}$	$-1{,}2\cdot10^{-3}$	$-0{,}2\cdot10^{-3}$		
	$\left(y_{gk}-\bar{y}_g\right)^2$	$0{,}04\cdot10^{-6}$	$0{,}64\cdot10^{-6}$	$0{,}64\cdot10^{-6}$	$0{,}04\cdot10^{-6}$	$1{,}44\cdot10^{-6}$	$0{,}04\cdot10^{-6}$		
4	y_{gk}	0,016	0,015	0,016	0,016	0,017	0,015	$2{,}84\cdot10^{-6}$	$0{,}568\cdot10^{-6}$
	$y_{gk}-\bar{y}_g$	$0{,}2\cdot10^{-3}$	$-0{,}8\cdot10^{-3}$	$0{,}2\cdot10^{-3}$	$0{,}2\cdot10^{-3}$	$1{,}2\cdot10^{-3}$	$-0{,}8\cdot10^{-3}$		
	$\left(y_{gk}-\bar{y}_g\right)^2$	$0{,}04\cdot10^{-6}$	$0{,}64\cdot10^{-6}$	$0{,}04\cdot10^{-6}$	$0{,}04\cdot10^{-6}$	$1{,}44\cdot10^{-6}$	$0{,}64\cdot10^{-6}$		

Оскільки всі оцінки дисперсій отримані за вибірками однакового об'єму ($m=6$), то кількість ступенів вільності для всіх однакова і дорівнює $\nu_1 = m-1$. Для перевірки гіпотези про однорідність оцінок s_g^2 дисперсій скористуємося критерієм Кохрена:

$$G = \max_g \{s_g^2\} \Big/ \sum_{g=1}^{N} s_g^2\{y\}$$

(3)

Вибравши максимальне значення s_g^2, за формулою (3) отримаємо $G = 0{,}3698224$. Порівняємо G з критичним значенням G_{kp}, що визначається з таблиць для $\nu_1 = m-1$ та $\nu_2 = N$ та обраного рівня значущості q. В нашому випадку $\nu_1 = 5$, $\nu_2 = 4$, $q = 5\%$, $G_{kp} = 0{,}5895$. Оскільки $G < G_{kp}$, то гіпотеза про однорідність вибіркових дисперсій відповідає результатам спостережень. При цьому всю групу вибіркових дисперсій s_g^2 можна вважати оцінками для однієї і тієї ж генеральної дисперсії $\sigma^2\{y\}$ відтворення експерименту, звідки найкраща її оцінка має вигляд $s^2\{y\} = \frac{1}{N}\sum_{g=1}^{N} s_g^2\{y\} = 0{,}676 \cdot 10^{-6}$ з кількістю ступенів вільності $\nu = N(m-1) = 20$.

Знайдемо тепер математичну модель $A_i = f(S,t)$. Для цього за формулою $b_i = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} x_{iu} y_u$, $i = 0,1,...,k$ обчислимо коефіцієнти регресії. В результаті обчислень отримаємо: $b_0 = 0{,}01295$; $b_1 = 0{,}00185$; $b_2 = 0{,}0105$; $b_{12} = -0{,}00005$. При цьому математичну модель можна записати у вигляді:

$y = 0{,}01295 + 0{,}00185x_1 + 0{,}00105x_2 - 0{,}00005x_1x_2$.

Після визначення коефіцієнтів регресії необхідно перевірити гіпотези про їх значущість, для чого скористуємося критерієм Стьюдента, емпіричне значення якого можна визначити за формулою

$$t_i = \frac{|b_i|}{s\{b\}} = \frac{|b_i|\sqrt{Nm}}{\sqrt{s^2\{y\}}}. \qquad (4)$$

Значення t_i для кожного коефіцієнту отриманої математичної моделі порівнюємо з критичним значенням t_{kp} для кількості ступенів волі $\nu = N(m-1) = 20$ та рівні значущості $q = 5\%$, яке береться з таблиці. В нашому випадку $t_{kp} = 2{,}0860$. Значимими є коефіцієнти b_0, b_1 та b_2. Всі коефіцієнти регресії в факторному експерименті оцінюються незалежно один від іншого, а тому несуттєві коефіцієнти можна відкинути, не перераховуючи всі інші. При цьому математична модель набуває вигляду $y = 0{,}01295 + 0{,}00185x_1 + 0{,}00105x_2$. Для перевірки адекватності цієї моделі скористуємося F-критерієм. При цьому отримали $F_P \approx 2{,}13$, а табличне значення при рівні значущості 5% становить $F_T = 4{,}35$. Оскільки $F_P < F_T$, отримана модель є адекватною.

Отже ми отримали шукану математичну модель $A_i = 0{,}01295 + 0{,}00185x_1 + 0{,}00105x_2$, яка є адекватною до експериментальних даних для заданої пари різець – деталь. В цій моделі $x_1 = (S - S_0)/\Delta S$, $x_2 = (t - t_0)/\Delta t$, $S_0 = 12{,}5$ мкм/об, $t_0 = 10$ мкм, $\Delta S = 7{,}5$ мкм/об, $\Delta t = 5$ мкм.

Узагальнюючи наведені результати розрахунків, можна зробити наступні висновки.

1. Сучасні тенденції оптимізації процесів різання при частій зміні об'єкту виробництва, матеріалів деталей і інструментів потребують швидкого і точного визначення режимів обробки. Розв'язком цієї задачі можуть бути розрахунково-експериментальні методи визначення параметрів процесу різання.

2. Алгоритм ідентифікації параметрів вібрацій як характеристики режиму АМТ та технологічного обладнання дозволяє отримати математичну модель амплітуди коливання різця у вертикальній площині $A_i = f(S,t)$ для технологічної системи ВПІД з визначеними

динамічними параметрами, визначеного матеріалу поверхні, що обробляється, інструменту із заданими геометричними параметрами, оптимальної швидкості різання.
В подальших дослідженнях передбачається застосування алгоритмів ідентифікації параметрів вібрацій як характеристик режиму алмазного мікро точіння та технологічного обладнання на конкретних верстатах алмазного мікро точіння з метою отримання адекватних математичних моделей процесу різання.

Список літератури

1. *Бобров В.Ф.* Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
2. *Васильев А.С., Дальский А.М., Клименко С.А., Полонский Л.Г., Хейфец М.Л., Ящерицын П.И.* Технологические основы управления качеством машин. – М.:Машиностроение, 2003. – 256 с.
3. *Гомеляко Е.В., Добровольський Г.Г., Саксеев П.Ю., Шевченко Д.А.* Математическая модель процесса алмазного микроточения для оптимизации технологических параметров обработки // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин. Зб. наук. праць. Серія: Процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Київ: НАН України ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2006. – С. 45-56.
4. *Добровольський Г.Г., Мінаєв Ю.М., Сіренко О.О., Сіренко О.В.* Математична модель технологічного процесу алмазного мікроточіння на основі методів штучного інтелекту // Прикладные вопросы искусственного интеллекта в задачах автоматизации и тестирования программ и управления в технических системах / Сборник научных трудов. – Киев: КМУГА, 1998. – С. 101-113.
5. *Северилов В.С., Полонский Л.Г., Клименко С.А.* Теоретичні основи технології механічної обробки.– Житомир: ЖІТІ, 2002. – 272 с.
6. *Налимов В.В., Чернова Н.А.* Статистические методы планирования экстремальных эксперименитов. - М.:Наука, 1965. – 340 с.

УДК 517.95:519.86

Я.В. Крисак, доцент НАУ (Національний авіаційний університет, Україна),
О.В. Сороцька, В.А. Стоян, д.ф.-м.н. (КНУ ім. Тараса Шевченка, Україна)

ДО ПОБУДОВИ ДИСКРЕТНО ВИЗНАЧЕНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЛІНІЙНИХ ТА КВАЗІЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Розв'язується задача побудови інтегральної моделі дискретно спостережуваного просторово розподіленого динамічного процесу

Дослідження сучасних некласично визначених динамічних процесів часто супроводжується проблемами побудови адекватної математичної моделі процесу та проблемами коректної постановки початково-крайових задач для них.

Проблеми дослідження динаміки диференціально описаних динамічних процесів за умови неповноти інформації про їх початково-крайовий стан детально викладені в [1,2], де запропоновані методики математичного моделювання функції стану процесу, яка, точно задовольняючи диференціальній моделі процесу, за середньоквадратичним критерієм узгоджується з дискретно та неперевно визначеними початково-крайовими спостереженнями за ним. За цим же критерієм розв'язуються і задачі керування динамікою таких процесів. Базовим для розв'язання сформульованих в [1,2] математичних задач є інтегральний еквівалент лінійної диференціальної моделі процесу.

Зважаючи на деякі проблеми побудови таких інтегральних еквівалентів нижче пропонується досить загальний підхід до побудови його дискретного аналогу. Зауважимо, що цей підхід не вимагає наявності диференціальної моделі динаміки процесу, а ґрунтується на системі спостережень за ним.

1. Розглянемо лінійний динамічний процес, залежність вектор-функції $y(t) \in R^p$ стану якого від розподілених в часі зовнішньо-динамічних збурень $x(t) \in R^m$ визначається системою лінійних диференціальних рівнянь

$$L(\partial_t)\, y(t) = x(t), \tag{1}$$

в якій $L(\partial_t)$ – матричний (розмірності $m \times p$) диференціальний оператор. Не зупиняючись на постановках початково-крайових задач та задач керування для системи (1), зауважимо, що всі вони розв'язуються в [1,2] після заміни диференціальної моделі (1) наступною інтегральною моделлю

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(t-t')x(t')\,dt'. \tag{2}$$

Деякі варіанти побудови передаточної функції $G(t-t')$ для відомих операторів $L(\partial_t)$ викладені в [2,4].

Зупинимося на побудові матричної функції $G(t-t')$ для випадку, коли математична модель (1) досліджуваного процесу не відома, однак є серія спостережень

$$\vec{x}^{(1)}, ..., \vec{x}^{(n)}; \quad \vec{y}^{(1)}, ..., \vec{y}^{(n)} \tag{3}$$

за вхідними та вихідними векторами

$$\vec{x} = \mathrm{co}\, l(x(t_m), m = \overline{1, M}),$$

$$\vec{y} = \mathrm{co}\, l(y(t_l), l = \overline{1, L})$$

системи (2), яку в цьому випадку запишемо співвідношенням

$$\vec{y} = A\vec{x}. \tag{4}$$

Перетворюючу матрицю $A = \left[G(t_l - t_m) \right]_{\ell,m=1}^{\ell=L;m=M}$ – дискретний аналог передаточної функції $G(t-t')$ – побудуємо так, щоб

$$A\vec{x}^{(i)} = \vec{y}^{(i)} \quad \forall i = \overline{1,n}. \tag{5}$$

В основу розв'язання задачі (5) покладемо наукові результати роботи [5], розвинені та узагальнені в [3].

2. Ґрунтуючись на математичних результатах псевдоінверсної алгебри легко показати [3], що система (5) матиме розв'язок, якщо

$$y_{(i)}^T Z(X) y_{(i)} = 0 \quad \forall i = \overline{1,\ Lp}\,, \tag{6}$$

де $Z(X) = I - X^+ X$,

$$X = (\vec{x}^{(1)}, \ldots, \vec{x}^{(n)}) = col(x_{(i)}^T;\ i = \overline{1,\ Mm}),$$

$$col(y_{(i)}^T,\ i = \overline{1,\ Lp}) = (\vec{y}^{(1)}, \ldots, \vec{y}^{(n)}) = Y.$$

При цьому

$$A = YX^+ + VZ(X^T) \quad \forall V \in R^{Lp \times Mm} \quad . \tag{7}$$

Розв'язок (7) буде однозначним $\left(V \equiv 0\right)$, якщо $\det XX^T > 0$.

3. Для випадку, коли

$$\varepsilon_s^2 = y_{(s)}^T Z(X) y_{(s)} > 0 \tag{8}$$

для деякого $s \in \{1, \ldots, Lp\}$, $a_{(s)}^T$ - рядок матриці

$$A = col\left(a_{(i)}^T,\ i = \overline{1, Lp}\right)$$

моделі (5) не може бути точно побудований на спостереженнях (3). Рядок цей може бути, однак, побудований після нелінійного перетворення $x_{(i_*)}^T$ - рядка ($i_* \in \{\overline{1, Mm}\}$) матриці вхідних спостережень X. Номер i_* - рядка може бути вибраний з умови

$$x_{(i_*)}^T X^T X x_{(i_*)} \neq 1 \tag{9}$$

лінійної залежності цього рядка від інших рядків матриці X. Через систему векторів $x_{(i_*)}^{k\otimes}$ $(k = \overline{1, k_*})$, для яких

$$x_{(i_*)}^{j\otimes} = \underbrace{x_{(i_*)} \ldots x_{(i_*)}}_{j-\text{раз}} \quad \left(j = \overline{2,\ k_*}\right), \tag{10}$$

$$\left\| Z\left(X\right) x_{(x_*)}^{j\otimes} \right\|^2 > 0 \quad \left(j = \overline{2,\ k_*}\right), \tag{11}$$

$$rangZ\left(X\right)(x_{(i_*)}^{2\otimes}, \ldots, x_{(i_*)}^{k_*\otimes}, x_{(i_*)}^{(k_*+1)\otimes}) = k_* - 1, \tag{12}$$

можна спробувати визначити $a_{(s)}^T$ - рядок матриці A.

При цьому

$$a_{(s)}^T = y_{(s)}^T \tilde{X}^+ + v^T Z\left(\tilde{X}^T\right) \tag{13}$$

за довільного Mm - вимірного вектора v, тотожно рівного нулю, якщо

$$\det \tilde{X}\tilde{X}^T > 0$$

та

$$\tilde{X} = (x_{(1)}, \ldots, x_{(i_*-1)}, \sum_{j=2}^{k_*} c_j x_{(i_*)}^{j\otimes}, x_{(i_*+1)}, \ldots, x_{(Mm)})^T. \tag{14}$$

Необхідною та достатньою умовою існування визначеного згідно (13) $a_{(s)}^T$ - рядка матриці A є умова існування розв'язку системи

$$\sum_{j=2}^{k_*} c_j x_{(i_*)}^{j\otimes} = Z(X) y_{(s)}\,,$$

яка визначається співвідношенням

$$\left\| Z(X_{i_*}^T) Z(X) y_{(s)} \right\|^2 = 0 \tag{15}$$

при $X_{i_*} = (x_{(i_x)}^{2\otimes}, ..., x_{(i_*)}^{k_*\otimes})$.

Рядки ж $a_{(i)}^T$ $(i = \overline{1, Lp}, i \neq s)$, які складають матрицю

$$\overline{A} = (a_{(1)}, ..., a_{(s-1)}, a_{(s+1)}, ..., a_{(Lp)})^T,$$

визначатимуться через матрицю X співвідношенням

$$\overline{A} = \overline{Y}X^+ + VZ(X^T), \tag{16}$$

у якому $\overline{Y}$ – матриця Y без s-го рядка, а V – довільна $((Lp-1)\times Mm)$- вимірна матриця, тотожно рівна нулю, якщо $\det XX^T > 0$.

Лінійна математична модель (4) в даному випадку заміниться квазілінійною моделлю

$$\overline{A}\vec{x} = \overline{y}, \tag{17}$$

$$a_{(s)}^T \tilde{x} = y_s, \tag{18}$$

в якій $\overline{y}$ - вектор $\vec{y}$ без s - компоненти y_s, а $x = col(x_1, ..., x_{Mm})$,

$$\overline{x} = col(x_1, ..., x_{i_*-1}, \sum_{j=2}^{k_*} c_j x_{i_*}^j, x_{i_*+1}, ...x_{Mm}).$$

4. Зупинимося на випадку, коли визначені згідно (4) та (17), (18) математичні моделі розглядуваного процесу не можуть бути побудовані на спостереженнях (3) за ним. Це означає, що досліджуваний процес є нелінійним (умова (8)), однак немає $x_{(i_*)}^T$ - рядка матриці X (умова (9)), який можна було б перетворити згідно (10), або ж такий $x_{(i_*)}^T$ - рядок є, але перетворення (10) не задовольняють умовам (11), (12), (15). У цьому випадку на спостереженнях (3) за процесом визначену співвідношеннями (17), (18) квазілінійну модель його точно побудувати не можна.

Для побудови математичної моделі, яка б найкраще за середньоквадратичним критерієм узгоджувалася з матрицями X та Y спостережень за процесом будемо виходити з нелінійно за $x_{(i_0)}^T$ - рядком перетвореної матриці

$$\tilde{X}_{i_0} = (x_{(1)}, ..., x_{(i_0-1)}, \sum_{j=1}^{k_0} c_j(i) x_{(i_0)}^{j\otimes}, x_{(i_0+1)}, ..., x_{(m)})^T. \tag{19}$$

Номер i_0 вибраного для перетворень $x_{(i_0)}^T$ - рядка матриці X та вектор $c(i) = col(c_1, ..., c_{k_0})$ коефіцієнтів $c_1, ..., c_{k_0}$ перетворення виберемо так, щоб

$$(i_0, c(i_0)) = \arg\min_i \min_{c(i)} \sum_{s=1}^{p} \varepsilon_s^2(i, c(i)), \tag{20}$$

де k_0 – розмірність простору ортогонального доповнення до лінійної оболонки $L(\tilde{X}_i)$, натягненої на вектор-рядки матриці $\tilde{X}_i$, $Pr_{\overline{L(\tilde{X}_i)}} y_{(s)}$ – проекція вектора $y_{(s)}$ на це ортогональне доповнення, а

$$\varepsilon_s^2(i, c(i)) = \left\| Pr_{\overline{L(\tilde{X}_i)}} y_{(s)} \right\|^2.$$

Для знаходження вектора $c(i) = \arg\min_{\xi \in R^{k_0}} \varepsilon_s^2(i, \xi(i))$ будемо виходити з того, що

$$Pr_{\overline{L(\tilde{X}_i)}} y_{(s)} = Z(\tilde{X}_i) y_{(s)},$$

при $$Z(X_i) = Z(\overline{X}) - \frac{Z(\overline{X}) \sum_{j=1}^{k_0} c_j x_{(i)}^{j\otimes} (\sum_{j=1}^{k_0} c_j x_{(i)}^{j\otimes})^T Z(\overline{X})}{\left\| Z(\overline{X}) \sum_{j=1}^{k_0} c_j x_{(i)}^{j\otimes} \right\|^2}, \qquad Z(\overline{X}) = Z(X) + \frac{q_i q_i^T}{\|q_i\|^2} \tag{21}$$

(тут $q_i = X^+ e_i - i$-й стовпець матриці X^+).

Позначивши через

$$D_i = Z(\bar{X})(x_i^{1\otimes},...,x_i^{k_0\otimes}), \tag{22}$$

проекційну матрицю (21) запишемо у вигляді

$$Z(\tilde{X}_i) = Z(\bar{X}) - \frac{D_i c (D_i c)^T}{\|D_i c\|^2}. \tag{23}$$

Після чого з (20) маємо

$$c(i) = \arg\min_{\xi \in R^{k_0}} \frac{(y_s^T D_i \xi(i))^2}{\|D_i \xi(i)\|^2}. \tag{24}$$

Розв'язком же (24) , буде $c(i) = D_i^+ y_{(s)}$ $(s \in \{\overline{1,p}\})$.

Останнє означає, що введений в (20) номер i_0 $x_{(i_0)}^T$ - рядка матриці X визначається співвідношенням

$$i_0 = \arg\min_{i \in \{\overline{1,m}\}} \{y_{(s)}^T Z(\bar{X}) y_{(s)} - (y_{(s)}^T P_i P_i^+ y_{(s)})^2\}, \text{ де } P_i = D_i D_i^T.$$

Через перетворену згідно (19) матрицю $\tilde{X}_i$ співвідношенням

$$a_{(s)} = (\tilde{X}_{i_0}^T)^+ y_{(s)} + (I - P_{i_0}^+ P_{i_0}) v_{(s)}$$

(25)

при довільному $v_{(s)} \in R^m$ $(v_{(s)} \equiv 0,$ якщо $\det P_{i_0} > 0)$ та $P_{i_0} = \tilde{X}_{i_0} \tilde{X}_{i_0}^T$ визначається $a_{(s)}^T$ - рядок $(s = \overline{1,p})$ матриці A. Точність такого визначення $a_{(s)}^T$ - рядка матриці A, яким вноситься нелінійність у початково лінійну модель процесу, встановлюється величиною

$$\min \left\| \tilde{X}_{i_0}^T a_{(s)} - y_{(s)} \right\|^2 = \left\| Z(\tilde{X}_{i_0}) y_{(s)} \right\|^2 = y_{(s)}^T (I - \tilde{X}_{i_0}^+ \tilde{X}_{i_0}) y_{(s)}.$$

Сама ж математична модель при цьому запишеться співвідношенням

$$A\tilde{x} = \vec{y}$$

при визначеному вище векторові x та

$$\tilde{x} = col(x_1,...,x_{i_0-1}, \sum_{j=1}^{l_0} c_j(i_0) x_{i_0}^j, x_{i_0+1},....,x_m).$$

Висновки. Таким чином, для просторово розподіленого динамічного процесу, дискретно спостережуваного за станом та розподіленими зовнішньо-динамічними збуреннями, які його супроводжують, ідентифікується дискретний аналог ядра інтегральної математичної моделі процесу. Розглядаються випадки лінійної та квазілінійної моделі. Досліджуються умови точності та однозначності розв'язання задачі.

Список літератури

1. *Скопецький В.В., Стоян В.А., Кривонос Ю.Т.* Математичне моделювання динаміки прямих та обернених задач динаміки системи з розподіленими параметрами. – К.: Наук. думка, 2001.– 361с.

2. *Скопецький В.В., Стоян В.А., Зваридчук В.Б.* Математичне моделювання динаміки розподілених просторово-часових процесів. – К.: Видавництво «Сталь», 2009.–316с.

3. *Стоян В.А.* Моделювання та ідентифікація динаміки системи із розподіленими параметрами К.: ВПЦ «Київський Університет», 2008. – 201с.

4. *Гладкий А.В., Сергієнко І.В., Скопецький В.В., Гладка Ю.А.* Основи математичного моделювання в екології. – К.: НТУУ «КПІ», 2009.–240с.

Кириченко Н.Ф., Лепеха Н.П. Возмущение псевдообратных и проекционных матриц и их применение к идентификации линейных и нелинейных зависимостей// Проблемы управления и информатики. – 2001. – №4. – С. 6–22.

УДК 681.142 + 519.4

В.К. Репета , канд. фіз.-мат. наук, доцент
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПРО ЧИСЛОВІ ТРИГОНОМЕТРИЧНІ ТОТОЖНОСТІ СПЕЦІАЛЬНОГО ВИГЛЯДУ

Вивчені тригонометричні добутки спеціального вигляду. Встановлено умову розпаду цих добутків на множники із раціональними значеннями, що спирається на малу теорему Ферма та теорему Ейлера

Розглянемо добутки вигляду $\cos\frac{\alpha_1\pi}{2n+1}\cos\frac{\alpha_2\pi}{2n+1}...\cos\frac{\alpha_k\pi}{2n+1}$ ($\alpha_1, \alpha_2,\ldots, \alpha_k$ – натуральнікоефіцієнти, які попарно різні між собою і належать відрізку [1; n]). Насамперед нас цікавитимуть умови, за яких цей вираз є раціональним числом, точніше дорівнює $\frac{1}{2^k}$.

Розглядуваний матеріал тісно переплітається з елементами теорії чисел, зокрема з малою теоремою Ферма.

Твердження 1. Нехай n – натуральне число, тоді

$$\cos\frac{\pi}{2n+1}\cos\frac{2\pi}{2n+1}\cos\frac{3\pi}{2n+1}...\cos\frac{n\pi}{2n+1}=\frac{1}{2^n}\ . \qquad (1)$$

Доведення. Позначимо

$$C(n)=\cos\frac{\pi}{2n+1}\cos\frac{2\pi}{2n+1}...\cos\frac{(n-1)\pi}{2n+1}\cos\frac{n\pi}{2n+1},$$

$$S(n)=\sin\frac{\pi}{2n+1}\sin\frac{2\pi}{2n+1}...\sin\frac{(n-1)\pi}{2n+1}\sin\frac{n\pi}{2n+1}\ ,$$

помножимо і одночасно поділимо $C(n)$ на $2^n S(n)$, після n - кратного застосування формули $\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$ отримаємо

$$2^n C(n)=\frac{\sin\frac{2\pi}{2n+1}\sin\frac{4\pi}{2n+1}...\sin\frac{(2n-2)\pi}{2n+1}\sin\frac{2n\pi}{2n+1}}{\sin\frac{\pi}{2n+1}\sin\frac{2\pi}{2n+1}...\sin\frac{(n-1)\pi}{2n+1}\sin\frac{n\pi}{2n+1}}. \qquad (2)$$

Кожному множнику $\sin\frac{\alpha_k\pi}{2n+1}$ у формулі (2) поставимо у відповідність число α_k. У результаті знаменник дробу, тобто вираз $S(n)$, характеризуватиме множина $A_{зн}$ = {1, 2, 3, …, n –1, n}, а чисельник — відповідно набір $A_{чис}$ = {2, 4, 6, …, 2n –2, 2n}. Будь-яка перестановка елементів кожної множини означатиме незмінність розглядуваного тригонометричного виразу, оскільки самі множники при цьому не змінюються. Окрім цього, елемент α_k природно ототожнити з елементом $2n+1-\alpha_k$, адже, заміна α_k на $2n+1-\alpha_k$ означає застосування формули зведення $\sin(\pi-\alpha)=\sin\alpha$ для $\alpha=\frac{\alpha_k\pi}{2n+1}$.

Покажемо, що права частина в (2) дорівнює 1. Для цього проаналізуємо набори $A_{зн}$ та $A_{чис}$. Замінивши кожен парний елемент $2k$ множини $A_{чис}$, що перевищує n, на відповідний непарний елемент $2n+1-2k$, дістанемо рівносильний набір $A_{чис}$ = {2, 4, 6, …, 3, 1}, який складається з тих самих елементів, що й множина $A_{зн}$, записаних лише в іншому порядку. Звідси випливає, що чисельник дробу складається з тих самих множників, що й знаменник. Отже, дріб дорівнює 1, а $C(n)=\frac{1}{2^n}$, що й завершує доведення.

Приклад 1. Нехай n = 5, тоді (2) набуває вигляду

$$2^5 C(5) = \frac{\sin\frac{2\pi}{11}\sin\frac{4\pi}{11}\sin\frac{6\pi}{11}\sin\frac{8\pi}{11}\sin\frac{10\pi}{11}}{\sin\frac{\pi}{11}\sin\frac{2\pi}{11}\sin\frac{3\pi}{11}\sin\frac{4\pi}{11}\sin\frac{5\pi}{11}}.$$

Знаменник та чисельник дробу у правій частині розглядуваної рівності. характеризують множини $A_{зн} = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ та $A_{чис} = \{2, 4, 6, 8, 10\}$ відповідно. Оскільки 11 – 10 = 1, 11– 8 = 3, то запишемо другу множину у вигляді $A_{чис} = \{2, 4, 5, 3, 1\}$.

Погляньмо тепер на табл.1, у яку занесено остачі r від ділення степенів двійки на 11.

Таблиця 1

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r = 2^k \pmod{11}$	2	4	8	5	10	9	7	3	6	1
r або $11 - r$	2	4	3	5	1	2	4	3	5	1

Далі таблицю можна не повторювати, оскільки остачі повторюються з періодом 10. Крім того помічаємо такі закономірності: 1) у середньому рядку кожне наступне число є остачею від ділення на 11 подвоєного попереднього числа; 2) для кожного числа середнього рядка існує рівно одне число, які у сумі дають 11. Такі числа ми вважаємо тотожними: якщо остача $r > 5$, замінимо її на $11 - r$. У результаті дістанемо нижній рядок, елементи якого повторюються з періодом 5 і є по суті перестановками множини $A_{зн}$ чи $A_{чис}$.

Встановимо відповідність між елементами множин $A_{зн}$ та $A_{чис}$ у вигляді табл. 2.

Таблиця 2

$A_{зн}$	1	2	4	3	5
$A_{чис}$	2	4	3	5	1

За даними таблиць сформуємо рівносильні цикли (рис. 1), які визначають ще два способи обчислення значення $C(5)$.

Рис. 1

Реалізацією другого циклу є такі перетворення

$$C(5) = \frac{\sin\frac{\pi}{11}\cos\frac{\pi}{11}\cos\frac{2\pi}{11}\cos\frac{4\pi}{11}\cos\frac{8\pi}{11}\cos\frac{16\pi}{11}}{\sin\frac{\pi}{11}} = \frac{\sin\frac{2\pi}{11}\cos\frac{2\pi}{11}\cos\frac{4\pi}{11}\cos\frac{8\pi}{11}\cos\frac{16\pi}{11}}{2\sin\frac{\pi}{11}} =$$

$$= \frac{\sin\frac{4\pi}{11}\cos\frac{4\pi}{11}\cos\frac{8\pi}{11}\cos\frac{16\pi}{11}}{4\sin\frac{\pi}{11}} = \frac{\sin\frac{8\pi}{11}\cos\frac{8\pi}{11}\cos\frac{16\pi}{11}}{8\sin\frac{\pi}{11}} = \frac{\sin\frac{16\pi}{11}\cos\frac{16\pi}{11}}{16\sin\frac{\pi}{11}} = \frac{\sin\frac{2^5\pi}{11}}{32\sin\frac{\pi}{11}} = \frac{1}{32} \quad \textbf{(3)}$$

Помітимо, що $2^5 + 1$ ділиться без остачі на просте число 11. Саме цей факт дає змогу застосувати формулу зведення $\sin\frac{2^5\pi}{11} = \sin\left(3\pi - \frac{\pi}{11}\right) = \sin\frac{\pi}{11}$ і в результаті підтвердити раціональність добутку $C(5)$. Звернемося тепер до малої теореми Ферма.

Мала теорема Ферма. *Якщо p – просте число і a – ціле число, що не кратне p, то $a^{p-1} - 1$ ділиться без остачі на p.*

Як частинний випадок при $a = 2$ (надалі обмежуватимемося саме таким випадком) справджується твердження: якщо p – просте число ($p \neq 2$), то $2^{p-1} - 1$ ділиться без остачі на p. Це записують так: $2^{p-1} - 1 \equiv 0 (\mathrm{mod}\, p)$ (запис $a \equiv b (\mathrm{mod}\, p)$ означає, що числа a і b при діленні на p дають однакові остачі).

Нехай $2n + 1$ – просте число, тоді за малою теоремою Ферма $2^{2n} - 1 \equiv 0(\mathrm{mod}(2n + 1))$, або $(2^n - 1)(2^n + 1) \equiv 0(\mathrm{mod}(2n + 1))$. Оскільки $2n + 1$ – просте число, то або $2^n - 1 \equiv 0(\mathrm{mod}(2n + +1))$, або $2^n + 1 \equiv 0(\mathrm{mod}(2n + 1))$. У нашому випадку $2^{10} - 1 = 93 \cdot 11 \equiv 0(\mathrm{mod}\ 11)$, $(2^5 - 1)(2^5 + 1) \equiv 0(\mathrm{mod}\ 11)$, звідси $2^5 + 1 \equiv 0(\mathrm{mod}\ 11)$.

Із наведених міркувань по суті випливає

Твердження 2. Якщо $2n + 1$ – просте число, тоді

$$\left|\cos\frac{\pi}{2n+1}\cos\frac{2\pi}{2n+1}\cos\frac{4\pi}{2n+1}\ldots\cos\frac{2^{n-1}\pi}{2n+1}\right| = \frac{1}{2^n}. \qquad \textbf{(4)}$$

Приклад 2. Нехай $2n + 1 = 17$. У цьому разі зациклювання елементів при зміні k від 1 до 8 відбувається двічі (див. рис.2).

Рис. 2

Отже, тотожність (1) при $n = 8$ розпадається на дві тотожності:

$$\cos\frac{\pi}{17}\cos\frac{2\pi}{17}\cos\frac{4\pi}{17}\cos\frac{8\pi}{17} = \frac{1}{16}, \quad \cos\frac{3\pi}{17}\cos\frac{6\pi}{17}\cos\frac{5\pi}{17}\cos\frac{7\pi}{17} = \frac{1}{16}.$$

Між прикладами 1 та 2 є суттєва відмінність: вираз $C(8)$ допускає представлення у вигляді добутку двох виразів, кожен з яких набуває одного й того самого раціонального значення, тоді як виразу $C(5)$ це не властиво. Причиною відмінностей очевидно є властивості числа $2n + 1$. І 11, і 17 – прості числа, тобто числа однієї природи, проте за малою теоремою Ферма:

1) якщо $2n + 1 = 11$, то $2^{10} - 1 = (2^5 - 1)(2^5 + 1) \equiv 0(\mathrm{mod}\ 11)$, звідси $2^5 + 1 \equiv 0(\mathrm{mod}\ 11)$;

2) якщо $2n + 1 = 17$, тоді $2^{16} - 1 = (2^4 - 1)(2^4 + 1)(2^8 + 1) \equiv 0(\mathrm{mod}\ 17)$, звідси $2^4 + 1 \equiv 0(\mathrm{mod}\ 17)$.

Мала теорема Ферма лише стверджує, що якщо $p = 2n + 1$ – просте число, то $2^{2n} - 1$ ділиться без остачі на просте число p. Насправді можливі випадки, коли різниця $2^{2l} - 1$ ділиться без остачі на просте число $2n + 1$ навіть тоді, коли натуральне число $2l < p - 1 = 2n$. Так на 17 ділиться без остачі не тільки вираз $2^{16} - 1$, а й $2^8 - 1$ та $2^4 + 1$.

Означення. Найменше натуральне число $2l$, для якого $2^{2l} - 1 \equiv 0(\mathrm{mod}\ p)$ називають порядком числа 2 за модулем p. Можна довести, що порядок $2l$ є дільником числа $p - 1$.

Отже, $2l = 10$ – порядок числа 2 за модулем 11, а $2l = 8$ – порядок числа 2 за модулем 17. З наведених прикладів видно, що довжина циклу дорівнює числу l, а кількість циклів $k = n : l$. Тоді кожному циклу $\alpha_1 \to \alpha_2 \to \ldots \to \alpha_l \to \alpha_1$ відповідає тотожність

$$\cos\frac{\alpha_1\pi}{2n+1}\cos\frac{\alpha_2\pi}{2n+1}\ldots\cos\frac{\alpha_l\pi}{2n+1} = \frac{1}{2^l}.$$

Приклад 3. Нехай $n = 15$. Оскільки $2n + 1 = 31$ – просте число, то за малою теоремою Ферма $2^{30} - 1 \equiv 0(\mathrm{mod}\ 31)$, або $(2^5 - 1)(2^5 + 1)(2^{20} + 2^{10} + 1) \equiv 0(\mathrm{mod}\ 31)$, помічаємо, що $2^5 - 1 \equiv \equiv 0(\mathrm{mod}\ 31)$. Тоді $2l = 10$ – порядок числа 2 за модулем 31, $l = 5$ – довжина циклу, $k = 15 : 5 = 3$ – кількість циклів (див. рис.3).

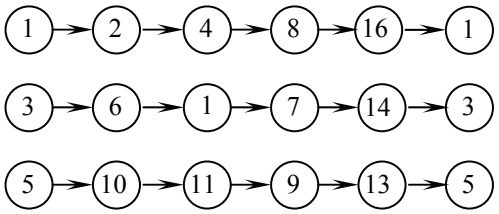


Рис. 3

Отже, тотожність $C(15)=\frac{1}{2^{15}}$ розпадається на три тотожності вигляду

$$\cos\frac{\pi}{31}\cos\frac{2\pi}{31}\cos\frac{4\pi}{31}\cos\frac{8\pi}{31}\cos\frac{15\pi}{31}=\frac{1}{32},$$
$$\cos\frac{3\pi}{31}\cos\frac{6\pi}{31}\cos\frac{12\pi}{31}\cos\frac{7\pi}{31}\cos\frac{14\pi}{31}=\frac{1}{32},$$
$$\cos\frac{5\pi}{31}\cos\frac{10\pi}{31}\cos\frac{11\pi}{31}\cos\frac{9\pi}{31}\cos\frac{13\pi}{31}=\frac{1}{32}.$$

Нехай тепер $2n+1$ – складене число.

Для подальшого аналізу звернемося до теореми Ейлера, яка узагальнює малу теорему Ферма.

Теорема Ейлера. *Якщо a і m – взаємно прості числа, то* $a^{\varphi(m)}-1=0(mod\ m)$.

Тут $\varphi(m)$ – кількість взаємно простих з m чисел, які не перевищують m. Так, $\varphi(5)=4$, $\varphi(6)=2$, $\varphi(10)=4$, $\varphi(16)=10$. Для простого p $\varphi(p)=p-1$. Звідси випливає, що мала теорема Ферма є окремим випадком теореми Ейлера. Якщо $m>2$, то $\varphi(m)$ – парне число. При цьому, якщо $m=2n+1$, то $\varphi(2n+1)=2\lambda$, де λ – кількість взаємно простих з m чисел, що належать проміжку від 1 до n. Для $a=2$ і $m=2n+1$ за теоремою Ейлера виконується рівність $2^{2\lambda}-1\equiv 0\ (\mathrm{mod}(2n+1))$. Насправді, справджується ще й одна з двох рівностей: або $2^{\lambda}-1\equiv 0\ (\mathrm{mod}(2n+1))$, або $2^{\lambda}+1\equiv 0\ (\mathrm{mod}(2n+1))$.

Твердження 3. Нехай m – натуральне число, $m>2$. Якщо $\varphi(m)=2\lambda$ – кількість взаємно простих з m чисел, які не перевищують m, тоді або $2^{\lambda}-1=0\ (\mathrm{mod}\ m)$, або $2^{\lambda}+1=0\ (\mathrm{mod}\ m)$.

Можна довести, що порядок числа 2 за модулем m є дільником числа $\varphi(m)$.

Множина, утворена з λ взаємно простих з $2n+1$ чисел, які не перевищують n, розбивається на k циклів: $k=\lambda:l$.

Приклад 5. Нехай $2n+1=129=3\cdot 43$, тоді $\varphi(129)=2\cdot 42=84$, $\lambda=42$ – кількість взаємно простих з 129 чисел, що належать відрізку [1; 64]. Оскільки $2^{42}-1=\left(2^7-1\right)\left(2^7+1\right)\left(2^{28}+2^{14}+1\right)$ і $2^7+1=129$, то $2^{42}-1\equiv 0\ (\mathrm{mod}\ 129)$, $2l=14$ – порядок числа 2 за модулем 129, тому множина, утворена з 42 взаємно простих з 129 чисел, які не перевищують 64, розбивається на 6 циклів:

(1, 2, 4, 8, 16, 32, 64), (5, 10, 20, 40, 49, 31, 62), (7, 14, 28, 56, 17, 34, 61),
(11, 22, 44, 41, 47, 35, 59), (13, 26, 52, 25, 50, 29, 58), (19, 38, 53, 23, 46, 37, 55),

які визначають відповідні тотожності. Так, наприклад,

$$\cos\frac{19\pi}{129}\cos\frac{23\pi}{129}\cos\frac{37\pi}{129}\cos\frac{38\pi}{129}\cos\frac{46\pi}{129}\cos\frac{53\pi}{129}\cos\frac{55\pi}{129}=\frac{1}{128}.$$

Список літератури

1. *Репета В.К.* Тригонометричні тотожності та рекурентні співвідношення / Математика у школі.-№ 2.- Київ, 2007, с.45-54.

УДК 517.1 : 519.1

О.Д. Глухов, кандидат фіз.-мат. наук,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПОРОГОВИЙ ДЕКРЕМЕНТ ДЛЯ ЗВ'ЯЗНИХ КВАЗІВИПАДКОВИХ ГРАФІВ

В статті розглядаються квазівипадкі графи на основі 3-зв'язних графві. Вводиться поняття декременту квазівипадкового графа і розв'язується задача знаходження порогового значення декременту, при якому квазівипадковий граф залишається зв'язним з достатньо високою ймовірністю.

Квазівипадкові (або частково-випадкові) графи описують системи, структура яких може змінюватись внаслідок випадкового розриву частини зв'язків. Нехай G - звичайний граф з множиною G^0 вершин і множиною G^1 ребер, $|G^0| = n$, $|G^1| = m$, квазівипадковим графом на основі графа G називається граф $G(p)$ з множиною $(G(p))^0 = G^0$ вершин і з випадковою множиною $U = (G(p))^1$, ребер для якого виконуються умови: $Prob(u \in U) = p$ при $u \in (G)^1$ і $Prob(u \in U) = 0$ при $u \notin (G)^1$. Величину $\lambda = mq, q = 1 - p$ будемо називати декрементом квазівипадкового графа. Очевидно, що декрекмент це є математичне сподівання величини $|U| - m$. В загальному випадку декремент розглядатиметься як деяка функція: $\lambda = \lambda(m)$**;** якщо λ є константою, то граф $G(p)$ називаєтьтся квазівипадковим графом пуассонівського типу. Такі графи вивчались в роботах [1, 2], де отримано, зокрема, наступний результат:

Теорема [2]. Якщо $G(p)$ – квазівипадковий граф пуассонівського типу на основі 3-зв'язного планарного графа G, то для ймовірності P його зв'язності вірна наступна оцінка:

$P \geq 1 - cm^{-2}$, де c –деяка стала.

В цій роботі розглядається питання порогового значення декременту, тобто такого значення величини λ при якому квазівипадковий граф на основі 3- зв'язного графа буде зв'язним з ймовірністю $1 - o(1)$.

Для розв'язання цієї задачі спочатку знайдемо оцінку числа $\sigma_k(G)$ мінімальних (по включенню) k- реберних розрізів 3-реберно зв'язного графа G (у графі G допускаються кратні ребра і петлі). Квазіребром графа G будемо називати такий ланцюг, кінцеві вершини якого мають у цьому графі степені більше 2-х, а усі внутрішні вершини мають степінь 2. Через $\tilde{G}$ будемо позначати граф, що одержується з даного графа G заміною усіх квазіребер на звичайні ребра, тобто "стиранням" усіх вершин степені 2. Також позначимо через G'_u і G''_u графи, що одержуються з даного графа G відповідно видаленням і стягуванням ребра u [3].

Лема 1. Будь-який 3-реберно зв'язний граф G на n вершинах, $n \geq 3$, можна побудувати індуктивно: $G_0 \to \ldots \to G_k \to G_{k+1} \to \ldots \to G_m = G$ так, що:

- граф G_0 - 3-реберно зв'язний граф на 2- вершинах з 3-ма кратними ребрами;

- для кожного k граф $\tilde{G}_k$ є 3-реберно зв'язним ;

- граф G_{k+1} одержується з графа G_k додаванням до нього простого ланцюга так, що кінцеві вершини x та y ланцюга ототожнюються відповідно з вершинами a і b графа G_k, які не є обидві внутрішніми вершинами одного його квазіребра.

Лема 2. Якщо G - 3-реберно зв'язний граф на n вершинах, $n \geq 3$, то існує таке ребро , що обидва графи $\tilde{G}'_u$ і G''_u будуть 3-реберно зв'язними.

Теорема [4]. Якщо G - 3-реберно зв'язний граф на n вершинах, $n \geq 3$, то

$$\sigma_k(G) \le 2^{k-2}\binom{n+k-3}{k-2}, \text{ де } k \ge 3.$$

Наслідок. **Число 3-розрізів 3-реберно зв'язного графа на *n* вершинах не перевищує *2n.***

Відомо, що у випадку, коли G - 3-зв'язний граф, для ймовірності P справедлива наступна оцінка [1]:

$$Q = 1 - P \le \sum_{k=3}^{m} \sigma_k q^k,$$

де $q = 1 - p$, $\sigma_k = \sigma_k(G)$ - число мінімальних(по включенню) реберних k-розрізів графа G.

Отже, згідно з теоремою [4] маємо наступну оцінку для Q:

$$Q = 1 - P \le \sum_{k=3}^{m} \sigma_k q^k \le \sum_{k=1}^{m-2} 2^k \binom{n+k-1}{k} \lambda^{k+2} m^{-k-2} \le \frac{\lambda^2}{m^2} \sum_{k=1}^{m-2} 2^k \binom{n+k-1}{k} \lambda^k m^{-k}.$$

Зауважимо, що для мінімальних розрізів 3-реберно зв'язного графа мають місце нерівності $k \le m - n + 2$, $n \le m - 1$, звідки легко отримати нерівність $n(n+1)...(n+k-1) \le m^k$.

Враховуючи тепер, що $\binom{n+k-1}{k} = \frac{1}{k!} n(n+1)...(n+k-1) \le \frac{1}{k!} m^k$**, отримуємо наступні співвідношення:**

$$Q = \frac{\lambda^2}{m^2} \sum_{k=1}^{m-2} 2^k \frac{m^k}{k!} \lambda^k m^{-k} = \frac{\lambda^2}{m^2} \sum_{k=1}^{m-2} \frac{(2\lambda)^k}{k!} \le \frac{\lambda^2}{m^2} e^{-2\lambda} = \left(\frac{\lambda e^{-\lambda}}{m}\right)^2.$$

Якщо покласти $\lambda = \alpha \ln m$, де α - деяка константа, $\alpha < 1$, то отримаємо остаточну оцінку: $Q \le \left(\frac{\alpha m^{\alpha} \ln m}{m}\right)^2 = \left(\frac{\alpha \ln m}{m^{1-\alpha}}\right)^2 = o(1)$.

Таким чином доведено наступне твердження.

Теорема 1. Якщо $G(p)$ - квазівипадковий граф, $p = 1 - \lambda / m$ на основі G - 3-реберно зв'язного графа на n вершинах, $n \ge 3$, з m ребрами, то величина $\lambda = \alpha \ln m$, де α - деяка константа $\alpha < 1$, буде його погроговим декрементом .

Список літератури

1. *Глухов О.Д.* Проблема зв'язності частково-випадкових графів //Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К.: ІПМЕ НАНУ, 2008. – Вип.47. – С. 12-15.

2. *Глухов О.Д.* Про зв'язність планарних pr- графів пуассонівського типу// II Український математичний конгрес, 27-29 серпня 2009 р.: тези доп. – К., 2009. – режим досту-пу: http://www.imath. kiev.ua/~congress2009.

3. *Diestel R.* Graph Theor //NewYork : Springer-Verlag, 2000.-322p.

4. *Глухов О.Д.* Про число розрізів 3-зв'язного графа// XIII міжнародна наукова конференція ім. академіка М. Кравчука, 13-15 травня 2010 р.: тези доп. – К.: НТУУ, 2010. – Ч.1. – С. 92.

УДК: 517.2+532.5.031

О.М. Бердник
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПРО ВПЛИВ НЕДНОРІДНОГО ШАРУ ПЕРЕШКОД НА СТАБІЛІЗОВАНИЙ ПОТІК РІДИНИ В КРУГЛІЙ ТРУБІ

Сформульовано задачу про ламінарний потік в'язкої рідини в круглій трубі з легкопроникною шорсткістю (ЛППШ) біля стінок. Дослідження проведено чисельно та аналітично для лінійного випадку. Отримано профілі швидкості залежно від ступеня проникності, перевірено відому залежність для гідравлічного опору труби.

На сьогоднішній день результати експериментів та математичного моделювання легкопроникної шорсткості (ЛППШ) застосовуються виключно у плоскій постановці для вирішення як екологічних, так і технічних питань [1,2]. До розгляду пропонується осесиметричний випадок, коли потік в'язкої нестисливої рідини взаємодіє з ЛППШ, зосередженій на стінках круглої труби. Дане дослідження, на відміну від попереднього [3], проведене для неоднорідної ЛППШ.

Важливе значення розв'язок поставленої задачі має, зокрема, для потреб інженерної практики.

Нехай шар перешкод на стінках циліндру виконано із стержнів діаметром d висотою h (рис.1). Очевидно, що густина шару перешкод в перерізі потоку збільшується з наближенням до центру круглої труби. (зона ЛППШ: $R-h \le r \le R$, якщо r – відстань від осі, а R – радіус труби)

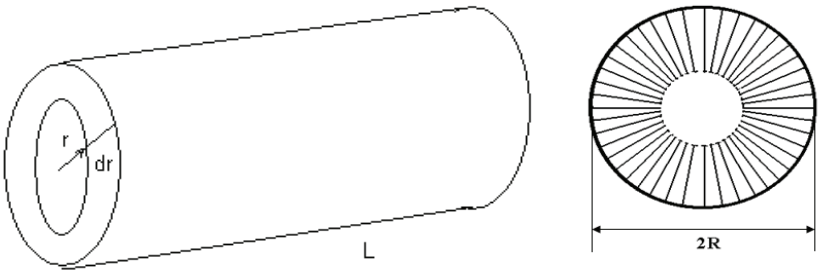


Рис. 1. Фрагмент труби з неоднорідною ЛППШ

Обмежимось принциповим розглядом задачі для квазіламінарного потоку ($\mu = const$). За умови гладкої труби матимемо відомий параболічний профіль швидкості [4]:

$$U(r) = -\frac{\Delta p}{4\mu L}(R^2 - r^2) \ , \tag{1}$$

де $\Delta p / L = const$, $\Delta p = p_2 - p_1$, $\Delta p < 0$, $L = l_2 - l_1$. Запропонований варіант ЛППШ має неоднорідну концентрацію перешкод. Моделюючи вплив перешкод на потік, введемо в рівняння (1) об'єму силу f_*:

$$\mu \frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dU}{dr}\right) = \frac{\Delta p}{L} + f_* \ . \tag{2}$$

Та традиційно врахуємо умову прилипання рідини до стінок та симетрію потоку на осі:

$$U(R) = 0 \ ; \qquad \left.\frac{dU}{dr}\right|_{r=0} = 0 \ . \tag{3}$$

Розглянемо нескінченно вузький елемент потоку, обмежений циліндрами радіуса r та $r + dr$, довільної довжини L (рис.1). Зрозуміло, що кількість перешкод (стержнів) на розгортці даного фрагменту та на відповідній розгортці стінки труби буде однаковою. Нехай

на вибраній довжині L розміщено N_1 стержнів впоперек потоку та N_2 – кількість таких рядів. Таким чином, на стінці площею $S_w = 2\pi RL$ ($м^2$), їх кількість становитиме $N = N_1 \times N_2$. Звідси маємо щільність шару перешкод на стінці труби ($1/м^2$):

$$n_w = \frac{N}{S_w} \ . \tag{4}$$

А для бічної поверхні фрагменту радіуса r щільність ЛППШ є аналогічною величиною:

$$n_r = n(r) = \frac{N}{S_r} = \frac{N}{2\pi rL} = \frac{n_w R}{r} = \frac{n_w}{\bar{r}}, \tag{5}$$

де $\bar{r} = r/R$ – безрозмірний радіус труби. Таким чином, маємо обернено пропорційну залежність між величинами n_r та $\bar{r}$.

Розглянемо тепер, яким же чином даний факт відобразиться на розподілі об'ємної сили f_*. Для цього візьмемо індивідуальну силу, яка діє на ділянку стержня-перешкоди висотою dr, лінійно залежною від першого степеня швидкості: $F_i = -k\rho U S_i$, де $S_i = d \cdot dr$, – міделева площа перешкоди ($м^2$), k, – емпіричний коефіцієнт ($м/с$). Тоді силу, розподілену в локальному об'ємі потоку рідини $d\Omega = \pi(r+dr)^2 L - \pi r^2 L \approx 2\pi r L dr$, і яка моделює вплив ЛППШ на цей потік, визначимо як границю відношення:

$$f \overset{Df}{=} \lim_{dr \to 0} \frac{N \cdot F_i}{d\Omega} = \frac{-N \cdot k\rho U d \cdot dr}{2\pi rL \cdot dr} = -k\rho dn_r U \ . \tag{6}$$

В результаті сила в рівнянні (2) набуває вигляду розривної функції:

$$f(r) = \begin{cases} 0, & 0 \le r < R - h \\ -k\rho\, d\, n_r U, & R - h \le r \le R \end{cases} \ . \tag{7}$$

Обравши в якості характерних масштабів швидкість на осі та тертя на стінці за умов відсутності ЛППШ, як в [3], враховуючи (4)–(5), отримаємо задачу (2) – (3) в безрозмірному вигляді:

$$\frac{1}{\bar{r}} \frac{d}{d\bar{r}} \left(\bar{r} \frac{d\bar{U}}{d\bar{r}} \right) = -4 + \begin{cases} 0, & \bar{r} \in [0, 1-\bar{h}) \\ A(\bar{r})\bar{U}, & \bar{r} \in [1-\bar{h}, 1] \end{cases} , \tag{8}$$

$$\bar{U}(1) = 0 \ ; \quad \bar{U}'(0) = 0 \ . \tag{9}$$

Як бачимо, лише два безрозмірні параметри визначають задачу (8) – (9): висота ЛППШ $\bar{h} = h/R$ та щільність ЛППШ $A(\bar{r}) = A_0/\bar{r}$, де $A_0 = -kdn_w R^2/\nu$. Крім того, розподіл тертя по аналогії з [3] будемо знаходити за формулою:

$$\tau(r) \overset{Df}{=} -\frac{1}{2}\frac{dU}{dr} \ . \tag{10}$$

Надалі риску над параметрами, як ознаку безрозмірності, опускатимемо.

Аналітичний розв'язок задачі (8)–(9):

а) $r \in [0;1-h)$ – зона поза ЛППШ:

$$U(r) = U_h + (1-h)^2 - r^2 \ ; \tag{11}$$

звичайно, тут значення U_h – невідоме, тому пізніше знайдемо його з умови спряження на рівні ЛППШ, де виконується: $\tau_h = \tau(1-h-0) = \tau(1-h+0)$,

зокрема, враховуючи (10)–(11), матимемо:

$$\tau_h = \tau(1-h-0) = -\frac{1}{2}\frac{dU(r)}{dr}\bigg|_{r=1-h-0} = 1-h \ . \tag{12}$$

б) $r \in [1-h;1]$ – область ЛПШ, де постає необхідність розв'язувати рівняння $U'' + \dfrac{U'}{r} - AU + 4 = 0$. Отриманий результат з урахуванням (10)–(12) є громіздким і виражений через функції Бесселя першого та другого роду (згладжуючи похибки округлень, уявні частини були відкинуті).

Таким чином, маємо можливість однозначно побудувати розрахункові точки профілів швидкості та тертя (рис.2) для заданих параметрів ЛПШ $h = 0{,}4$ і $A_0 = 0, 10, 50, 100$.

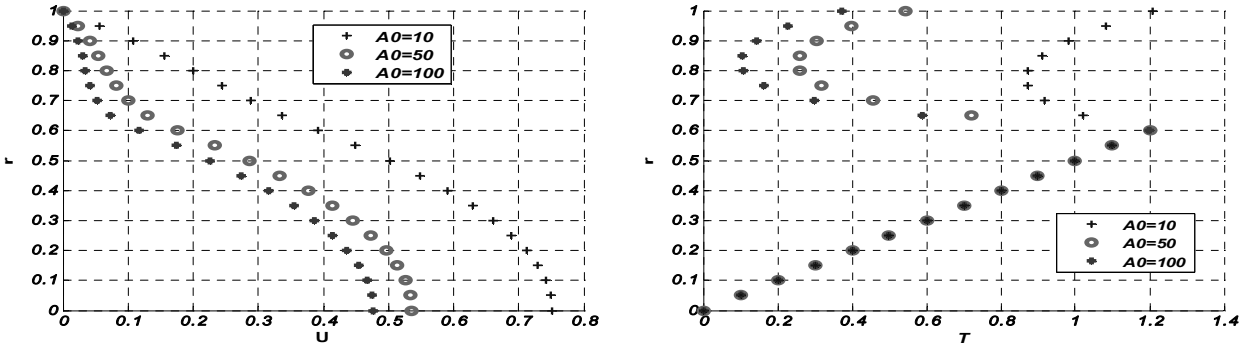


Рис. 2. Аналітичні профілі швидкості та тертя при неоднорідній ЛПШ

Аналізуючи залежність профілів швидкості та тертя від щільності ЛПШ A_0 (рис. 2), помічаємо, що пропускна здатність труби тим гірша, чим більша щільність ЛПШ. При $A_0 \to 0$ матимемо відомі [4] профілі – параболічний для швидкості та лінійний для тертя.

Чисельний розв'язок задачі (8)–(9): для його побудови було використано програму, перевірену для випадку однорідної ЛПШ [3]. Зокрема, перетворивши рівняння (8) в систему диференціальних рівнянь першого порядку та використавши відповідні команди MATLAB, результат візуалізовано (рис.3).

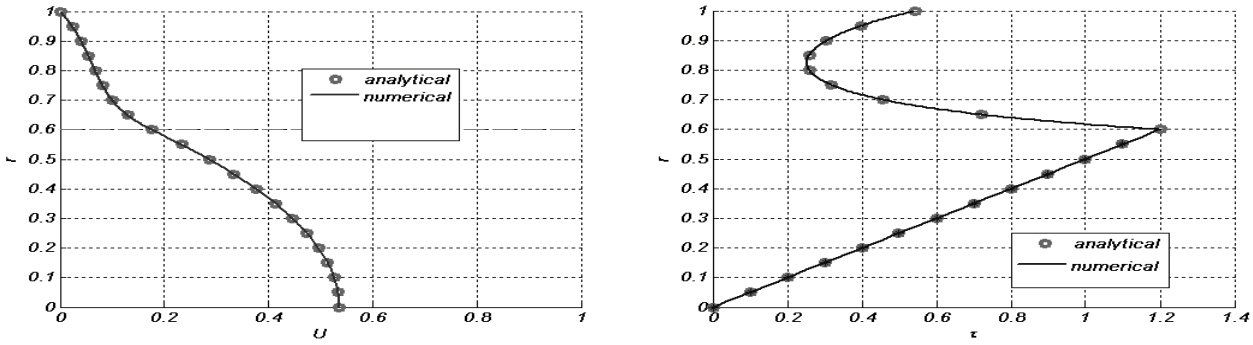


Рис. 3. Розрахункові точки аналітичного та чисельного профілів швидкості (а) та тертя (б) для *h=0.4* , *A_0=50*

Причому шляхом прямого порівнянням перевірено (рис.3), що аналітичний та чисельний розв'язки дають однакові розподіли швидкості та тертя. Отже, чисельний алгоритм можна вважати обґрунтованим. Це надалі дасть змогу застосовувати його до таких задач, що аналітичного розв'язку не мають.

Зауважимо, що на відміну від випадку однорідної ЛПШ, величина $A(\bar{r})$ є змінною у шарі $1-\bar{h} \le \bar{r} \le 1$. Тому надалі в розрахунках будемо використовувати середнє значення: $A_{сер} = \int\limits_{1-\bar{h}}^{1} \dfrac{A(\bar{r})}{\bar{h}} d\bar{r} = -\dfrac{A_0}{\bar{h}} \ln\left|1-\bar{h}\right|$. Порівнюючи результати роботи чисельних алгоритмів у випадку однорідної ЛПШ (в якості щільності бралося середнє значення $A_{сер}$) та неоднорідної (в якості аргументу бралося значення A_0), спостерігаємо (таблиця 1) досить малу різницю, похибка становить 0,79%. Таким чином, надалі неоднорідністю ЛПШ можна нехтувати.

Таблиця 1

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Одн. ЛПШ	0,913	0,9128	0,9122	0,9112	0,9098	0,9081	0,9059	0,9033	0,9004	0,89712
Неод. ЛПШ	0,9245	0,9243	0,9237	0,9227	0,9213	0,9196	0,9174	0,9149	0,9119	0,9086
Похибка	0,0115	0,0115	0,0115	0,0115	0,0115	0,0115	0,0115	0,0115	0,0115	0,0115

Суттєва кількісна відмінність має місце для залежності коефіцієнта опору λ від числа Рейнольдса Re і параметрів ЛПШ. Зокрема, в [3] вказувалося, що

$$\lambda = \frac{32}{\overline{U}_{сер}} \frac{1}{\mathrm{Re}}, \text{ де } \overline{U}_{сер} \overset{Df}{=} \frac{U_{сер}}{W} = 2\int_0^1 \bar{r}\,\overline{U}\left(\bar{r}\right) d\bar{r}.$$

Розрахунок середньої швидкості $\overline{U}_{сер}$ в нашому випадку проведено інтегруванням чисельного профілю $U(r)$. Результати залежності добутку $\lambda\,\mathrm{Re}$ від параметра щільності легкопроникної шорсткості A_0 представлені на рис.4. Спостерігається граничний перехід $\lambda\,\mathrm{Re} \to 64$ при $A_0 \to 0$, що підтверджує коректність отриманих результатів.

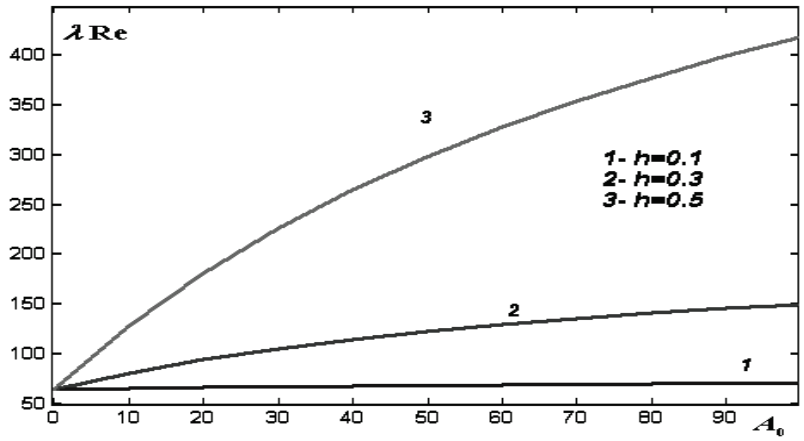


Рис. 4. Гідравлічний опір для різних висот ЛПШ (h) в залежності від щільності ЛПШ (A_0)

Висновки

Представлено задачу про ламінарний рух в'язкої рідини крізь круглу трубу з неоднорідною легкопроникною шорсткістю (ЛПШ) біля стінок та розроблено чисельний і аналітичний (коли задача лінійна) алгоритми її розв'язування. Коректність постановки задачі з ЛПШ та запропонованих алгоритмів підтверджується двома можливими граничними випадками ($h = 0$, $A_0 \to 0$), коли розв'язки зводяться до відомої задачі.

Список літератури

1. *Гаев Е.А.* Модели легкопроницаемой шероховатости для задач гидромеханики и теплофизики: Дис. д. техн. н.: 01.02.05 – К., 2000. – 345с.

2. *Gayev Ye.A. and Hunt J.C.R. editors* Flow and Transport Processes with Complex Obstructions: Applications to Cities, Vegetative Canopies, and Industry: NATO Science Series, Springer Publ. – 2006. – V. 236. – 350 pp.

3. *Гаєв Є.О., Бердник О.М.* Одновимірна ламінарна течія через круглу трубу з легкопроникною шорсткістю // Промислова гідравліка і пневматика. – 2008. – № 4 (22) – С.34-38.

4. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа.− М.: Наука, 1987.− 840 с.

УДК 539.311(043.2)

М.А. Мартиненко, доктор фізико-математичних наук (НУХТ, Україна),
В.П. Мартиненко (Національний авіаційний університет, Україна)

ЗАДАЧА ПРО КРУЧЕННЯ ПРУЖНОЇ КУЛІ З КОНЦЕНТРИЧНИМ СФЕРИЧНИМ РОЗРІЗОМ

Розглянуто розв'язок задачі про напружений стан пружної кулі, послабленої концентричним сферичним розрізом при крученні. Загальний розв'язок для кулі і сферичної оболонки поданий у вигляді розкладу за функціями Лежандра і після виконання граничних умов, задача зводиться до парних рівнянь. Дано числовий аналіз коефіцієнта інтенсивності напружень в залежності від площі та глибини сферичного розрізу.

Розглянемо осесиметричну задачу теорії пружності про кручення однорідної пружної кулі радіуса R, послабленої концентричним сферичним розрізом по поверхні $S\,(r = r_0 < R,\ 0 \le \theta \le \theta_0,\ 0 \le \varphi \le 2\pi,\quad r, \theta, \varphi -$ сферичні координати).

Єдину відмінну від нуля проекцію вектора переміщень $U_\varphi = U$ і компоненту тензора напружень $\tau_{r\varphi} = \tau$ в областях $V_1 (r < r_0)$ і $V_2 (r > r_0)$ можна представити у вигляді

$$Gu_1 = \sum_{n=1}^{\infty} a_n r^n P_n^1(\cos\theta);\ \tau_1 = \sum_{n=1}^{\infty} a_n (n-1) r^{n-1} P_n^1(\cos\theta),$$

$$Gu_2 = \sum_{n=1}^{\infty} (b_n r^n + c_n r^{-n-1}) P_n^1(\cos\theta);$$

$$\tau_2 = \sum_{n=1}^{\infty} \left[(n-1) b_n r^n - (n+2) c_n r^{-n-2}\right] P_n^1(\cos\theta),$$

де a_n, b_n, c_n - нескінченні послідовності невідомих коефіцієнтів; G-модуль зсуву матеріалу кулі; $P_n^1(\cos\theta)$ - приєднанні функції Лежандра [3]. Після застосування до даної задачі принципу Бюкнера [4] одержимо наступні граничні умови:

$$\tau_2 = 0, \qquad 0 \le \theta \le \pi,\ r = R, \tag{1}$$

$$\tau_1 = \tau_2\ ;\ u_1 = u_2\ , \qquad \theta_0 \le \theta \le \pi\ ,\ r = r_0, \tag{2}$$

$$\tau_1 = \tau_2 = f(\theta)\ , \qquad 0 < \theta < \theta_0\ ,\ r = r_0 \tag{3}$$

Умова (2) відповідає вимозі неперервності полів напружень і переміщень на поверхні кулі зовні розрізу, а відома функція $f(\theta)$ відповідає зусиллям, які перенесенні на поверхню розрізу за принципом Бюкнера. Задовольняючи граничні умови $(1)-(3)$ одержимо парну систему рівнянь наступного вигляду:

$$\sum_{n=1}^{\infty} b_n r_0^n \beta^{-2n-1} \frac{n+1/2}{n+2} P_n^1(\cos\theta) = 0, \quad \theta_0 \le \theta \le \pi,\ \beta = \frac{r_0}{R},$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} b_n r_0^{n-1} \beta^{-2n-1} (n-1)(1-\beta^{2n+1}) P_n^1(\cos\theta) = f(\theta), \quad 0 \le \theta \le \theta_0. \tag{4}$$

Розв'язок системи (4) будуємо на основі розривної суми і інтегрального представлення [5, 6] наведених нижче:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n+1/2}{n(n+1)} \cos(n+\frac{1}{2}) t P_n^1(\cos\theta) = -\frac{1}{2}\cos\frac{t}{2} ctg\frac{\theta}{2} + \frac{\sin tH(t-\theta)}{\sin\theta\sqrt{2\cos t - 2\cos\theta}};$$

$$\frac{n+1/2}{n(n+1)} P_n^1(\cos\theta) = -\frac{2}{\pi}\int_0^{\theta} \frac{\sin x \sin(n+1/2)x}{\sin\theta\sqrt{2\cos x - 2\cos\theta}} dx;$$

де $H(t-\theta)$ – функція Хевісайда.

Розв`язок парних рівнянь шукаємо у вигляді [6,7]

$$-b_n r^{n-1}\beta^{-2n-1} = \frac{n+2}{n(n+1)}\int_0^{\theta_0}\varphi(t)\cos(n+\frac{1}{2})tdt, \tag{5}$$

де $\varphi(t)$ – нова невідома функція, неперервна разом зі своєю першою похідною при $0 \le t \le \theta_0$.

При виконанні інтегральної умови $\int_0^{\theta_0}\varphi(t)\cos\frac{t}{2}dt = 0$, інтегральний оператор (5) тотожньо задовольняє першому рівнянню системи (4). Після підстановки (5) у друге рівняння (4) приходимо до наступного рівняння Абеля:

$$\int_0^{\theta}\frac{\sin x\varphi(x)}{\sqrt{2\cos x - 2\cos\theta}}dx = \sin\theta f(\theta), \tag{6}$$

де $$\Phi(x) = -\frac{2}{\pi}\int_0^{\theta_0}\varphi(t)\left[\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(n-1)(n+2)}{n+1/2}(1-\beta^{2n+1})\cos(n+\frac{1}{2})t\sin(n+\frac{1}{2})x\right]dt. \tag{7}$$

Застосовуючи до (6) формулу обернення інтегрального рівняння Абеля [7], одержимо

$$\Phi(x) = \frac{2}{\pi\sin x}.\frac{d}{dx}\int_0^{x}\frac{f(\theta)\sin^2\theta d\theta}{\sqrt{2\cos\theta - 2\cos x}} = F(x).$$

Зауважимо, що внутрішня сума в (7) знаходиться в замкнутому вигляді в класі узагальнених функцій, і в кінцевому результаті задача зводиться до наступного інтегро-диференціального рівняння:

$$\varphi'(x) + \frac{9}{4}\int_0^{x}\varphi(t)dt + \int_0^{\theta_0}\varphi(t)K(t,x)dt = F(x), \tag{8}$$

де

$$K(t,x) = \frac{\beta(1-\beta^2)}{2\pi}\left\{\frac{\sin\frac{x-t}{2}\left[1+4\beta^2+\beta^4+2\beta^2\cos(x-t)\right]}{\left[1-2\beta^2\cos(x-t)+\beta^4\right]^2} + \right.$$

$$\left. + \sin\frac{x+t}{2}.\frac{1+4\beta^2+\beta^4+2\beta^2\cos(x+t)}{\left[1-2\beta^2\cos(x+t)+\beta^4\right]^2}\right\} -$$

$$-\frac{9}{4\pi}\left[arctg(\frac{2\beta}{1-\beta^2}\sin\frac{x-t}{2}) + arctg(\frac{2\beta}{1-\beta^2}\sin\frac{x+t}{2})\right].$$

Компонента тензора напружень $\tau_{r\varphi}$ на поверхні кулі зовні розрізу визначається формулою

$$\sin\theta\tau_{r\varphi}(r_0,\theta) = \frac{-\sin\theta_0\varphi(\theta_0)}{\sqrt{2\cos\theta_0 - 2\cos\theta}} + \int_0^{\theta_0}\frac{\sin xF(x)dx}{\sqrt{2\cos x - 2\cos\theta}} +$$

$$+\frac{\theta}{4}\sqrt{2\cos\theta_0 - 2\cos\theta}t\int_0^{\theta_0}\varphi(t)dt + \int_{\theta_0}^{\theta}\frac{\sin xdx}{\sqrt{2\cos x - 2\cos\theta}}\int_0^{\theta_0}\varphi(t)K(t,x)dt.$$

Коефіцієнт інтенсивності напружень знаходимо із граничної рівності [8]

$$k_3 = \lim_{\theta\to\theta_0} \tau_{r\varphi}(r_0,\theta)\sqrt{2r_0(\theta-\theta_0)} = -\frac{\varphi(\theta_0)\sqrt{r_0}}{\sqrt{\sin\theta_0}}.$$

Різниця переміщень на поверхнях розрізу визначається інтегралом

$$G(u_1-u_2) = 2r_0\int_{\theta}^{\theta_0}\frac{\varphi(t)\sin t dt}{\sin\theta\sqrt{2\cos\theta-2\cos t}}.$$

Дослідження полів напружень і переміщень в околі граничного кола сферичного розрізу проведемо в локальній полярній системі координат $\rho,\gamma,$ яка показана на рисунку 1. Якщо скористатися одержаними наближеними значеннями приведених нижче сум

$$\sum_{n=1}^{\infty}(\frac{r_0}{r})^{n+1/2}\frac{(n+1/2)P_n^1(\cos\theta)}{n(n+1)}\sin(n+\frac{1}{2})\theta_0 \approx -\frac{\sqrt{r_0}\sin(\frac{\gamma}{2})}{\sqrt{2\rho\sin\theta_0}};$$

$$\sum_{n=1}^{\infty}(\frac{r_0}{r})^{n+1/2}\frac{P_n^1(\cos\theta)}{n(n+1)}\sin(n+\frac{1}{2})\theta_0 \approx -\frac{\sqrt{2\rho}\sin(\frac{\gamma}{2})}{\sqrt{r_0\sin\theta_0}}+c,$$

То для полів напружень і переміщень в околі розрізу отримаємо наступні асимптотичні вирази:

$$\tau_{r\varphi}^{(2)} \approx -\frac{k_3}{\sqrt{2\rho}}\sin\frac{\gamma}{2};\quad Gu_\varphi \approx k_3\sqrt{2\rho}\sin\frac{\gamma}{2}+c\,.$$

Приклад. Нехай переміщення точок кулі пропорційні їх віддалям до осі **OZ** і площини $\theta=\frac{\pi}{2}.$ В цьому випадку права частина рівняння (8) приймає вигляд:

$$F(x) = \frac{8a}{5\pi}\sin\frac{5x}{2};\qquad a=-\alpha G r_0,$$

де α – кут закручування на одиницю довжини. При $\beta=0$ одержимо задачу про сферичний розріз в пружному просторі, яка розглядалася в $[9,10]$. Зауважимо, що в цих роботах відсутні числові результати, а також не приведені формули для визначення коефіцієнтів інтенсивності.

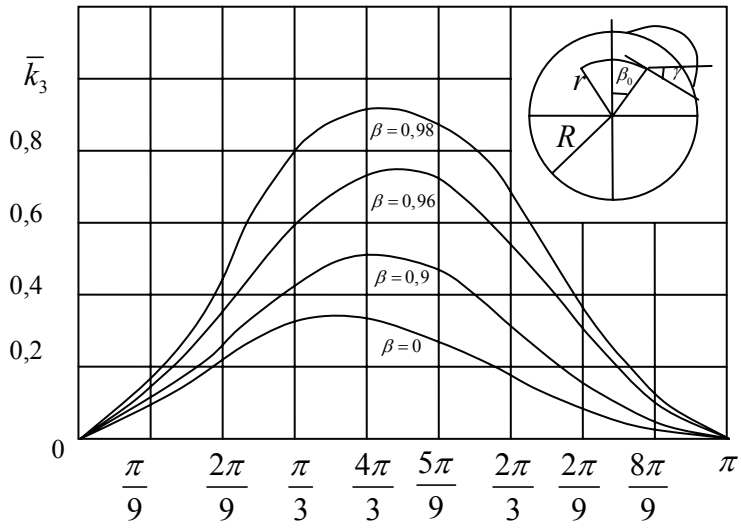


Рис.1. Залежність коефіцієнта інтенсивності напружень від кута розрізу.

При $\beta=0$ розв`язок рівняння (8) має вигляд

$$\varphi(x) = \frac{a}{\pi}\left[\frac{1}{3}(4\cos\theta_0-1)\cos\frac{3x}{2}-\cos\frac{5x}{2}\right],$$

а коефіцієнт інтенсивності визначається за формулою:

$$\overline{k_3} = -\frac{\pi k_3}{a\sqrt{r_0}} = \frac{2}{3}\sqrt{\sin\theta_0}\,(\sin\frac{\theta_0}{2} + \sin\frac{3\theta_0}{2}). \qquad (9)$$

На рисунку представлена поведінка коефіцієнтів в залежності від кута θ_0 при $\beta = 0;\ 0{,}9;\ 0{,}96;\ 0{,}98$. Аналізуючи числові результати робимо висновок, що при $\beta < 0{,}6$, коефіцієнт інтенсивності можна розраховувати за формулою (9) і при цьому відносна похибка не перевищуватиме п`яти відсотків.

Висновки. На основі отриманого аналітичного розв'язку мішаної просторової задачі теорії пружності про кручення пружної кулі зі сферичною тріщиною проведений аналіз коефіцієнта інтенсивності напружень k_3 і дані практичні рекомендації щодо інженерної оцінки міцності пружних тіл методами лінійної механіки руйнування.

Список літератури

1. *Улитко А.Ф.* Метод собственных векторных функций в пространственных задачах теории упругости.- Киев: Наук.думка, 1979.-264с.

2. *Арутюнян Н.Х., Абрамян Б.Л.* Кручение упругих тел.- М.: Физматгиз, 1963.- 686с.

3. *Гобсон Е.В.* Теория сферических и эллипсоидальных функций/Под.ред. С.В. Фомина.- М.: Мир,1952.- 476с.

4. *Мусхелишвили Н.И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости.- М.: Наука, 1966.- 707с.

5. *Мартыненко М.А., Улитко А.Ф.* Напряженное состояние вблизи вершины сферического разреза в неограниченной упругой среде//Прикл.механика,- 1978.- 14, №9.-23с.

6. *Мартыненко М.А.* Решение парных уравнений по полиномам Лежандра первого порядка//Мат. физика.- 1979.- №26.- С.106-109.

7. *Уфлянд Я.С.* Метод парных уравнений в задачах математической физики.- Л.: Наука, 1977.- 220с.

8. *Панасюк В.В., Саврук М.П., Дацышин А.П.* Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках.- Киев: Наук. думка, 1976.- 443с.

9. *Уфлянд Я.С., Меленевская Е.С.* Кручение упругого пространства ослабленного сферическим разрезом// Прикл. механика.- 1977.- 7, №2.- С.111-114.

10. *Зюзин В.А., Смирнов С.А.* Кручение упругого пространства ослабленного сферическим разрезом//Динамика и прочность тяжелых машин.- 1982.- №6.- С.173-179.

УДК 621.391

Д.Г. Медведєв (Національний авіаційний університет)

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕОЗИНОФІЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЛАЙНІВ

В роботі представлено спеціалізовані способи та алгоритми параметризації цифрових зображень еозинофілів для задач медичної діагностики. Розроблено алгоритм отримання контуру еозинофіла як сплайн-функції та визначення його геометричних параметрів.

За даними Міністерства охорони здоров'я України протягом останніх 10 років в Україні спостерігається поширення та ускладнення перебігу алергічних захворювань у дітей. Близько 18-20% їх мають різні за локалізацією та формами прояву алергічні захворювання. Підвищився рівень поширеності бронхіальної астми і в різних регіонах він коливається від 0,9 до 6,8 та атопічного дерматиту від 2,1 до 12,8 на 1000 дитячого населення. Достеменно доведений зв'язок зростання алергічних захворювань з погіршенням екологічної ситуації. [3]

Від запобігання та раннього виявлення цих захворювань залежить їх подальший прогноз та тактика запобігання та лікування.

На кафедрі педіатрії Дніпропетровської медичної академії розроблений метод прогнозування імунного статусу новонароджених. Цей метод включає збір та аналіз показників крові. Ці діагностичні показники додатково відбирають у великих гранульованих лімфоцитах периферійної крові, визначають серед них рівномірність забарвлення цитоплазми, характер зернистості, кількість гранул, як морфологічні ознаки [4]. Також розроблений метод прогнозування загострення алергічних процесів через виявлення таких елементів крові як еозинофіли. Цей метод прогнозування алергічного стану у дітей шляхом диференціювання показників молодих несегментованих і зрілих еозинофілів з сегментованим ядром підвищує достовірність та оперативність раннього прогнозування [1].

Методи дозволяють економити час і кошти на аналіз та оптимізувати диспансеризацію дітей групи ризику.

Метою попередньої обробки є покращення якості отриманого зображення. Знімки, зазвичай, недостатньо чіткі та контрастні, а також несуть в собі багато зайвої інформації – шумів (пил, що осів на скельця мазків, інші чинники). Поліпшити чіткість та контрастність зображення можна апаратними методами, наприклад заміною відеокамери, на ту, що спеціалізується на зйомці зображень під мікроскопом. Але це дорогий спосіб, який не вирішує проблему виключення шумів. Тому доцільніше скористатися алгоритмічними методами поліпшення якості зображення.

Зменшення ізольованих перешкод з мінімальним розмиванням контрасту забезпечується за рахунок одновимірної медіанної фільтрації по п'яти точках. Оконтурювання еозинофіла виконується за допомогою нелінійних операторів Робертса і Собеля.

Проте в загальному випадку це не дає змоги досягти оконтурювання саме еозинофіла (присутні й інші елементи крові). Окрім того, оператор потребує вибору порогового значення. Для роботи оператора зображення переводиться у формат YUV. Оператор застосовується до сигналу яскравості Y.

Еозинофіл відрізняється від загального фону більшою яскравістю, а від інших клітин – забарвленням (навіть візуально його можна виокремити від фону). Враховуючи лише яскравість не можна відрізнити еозинофіл та визначити його важливі характеристики. Тому необхідно приймати до уваги й компоненти кольоровості U (синьо-жовта) V (червоно-блакитна). Для цього до бінарного зображення яскравості (приймаємо за компоненту Y) додамо компоненти кольоровості у незмінному вигляді. Отримуємо кольорове зображення з іншим розподілом кольорів за рахунок бінарного перетворення яскравості. На ньому чітко

виділені ті ж контури, але еозинофіл стане білого кольору, а інший фон має жовтуватий колір.

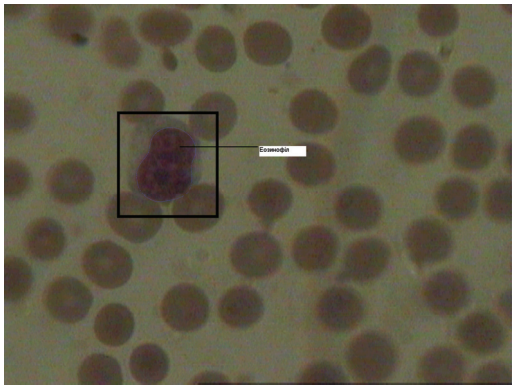


Рис. 1 Зображення еозинофіла.

Завдяки різниці в кольорі виділяємо еозинофіл. Для цього розроблено алгоритм послідовної стратегії перебору. Знаходяться приблизні межі «білого тіла» – контур еозинофіла. Знаходяться білі точки, навколо яких є достатня кількість (не менше 5) таких же білих точок. Це виключає окремі білі точки серед кольорового фону. Далі рухаємось в чотирьох напрямках, шукаючи чорні точки.

Оскільки контур є розмита лінія, що має розриви, то для його уточнення застосовуємо апроксимацію за допомогою сплайн-функцій. Особливість контуру еозинофіла в тому, що він є замкнутою лінією. Тому не можливо використовувати декартову систему координат і виконється перехід до полярної системи координат (Рис 2).

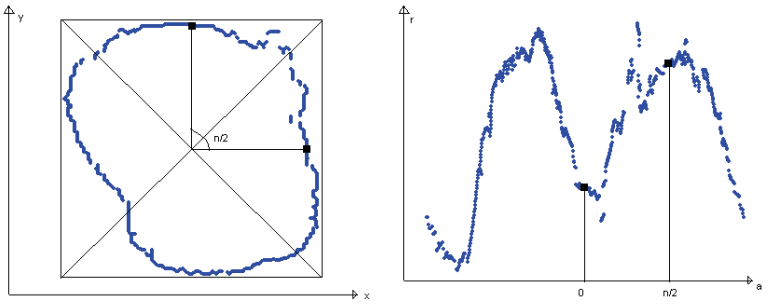


Рис. 2 Виділений контур еозинофіла в декартовій та полярній СК.

Оскільки функцію контуру можна розглядати як періодичну модифікуємо розрахункові вирази [2] кубічного ермітового сплайну для періодичних крайових умов. Особливістю періодичного сплайна є те, що перед першим фрагментом знаходиться останній, а за останнім фрагментом іде перший. Для обчислень базисних функцій сплайну використовуються наступні формули:

$X_0(x) = -p_1p_4b$, $X_1(x) = p_1c - p_2d + b$, $X_2(x) = -p_4c - p_3d + a$, $X_3(x) = -p_3p_2d$, $a = (x-x_j) / h_j$, $b=1-a$, $c = ab^2$, $d = a^2b$, $p_1 = \frac{h_j}{h_{j-1}}$, $p_2 = \frac{h_j}{h_{j+1}+h_j}$, $p_3 = \frac{h_j}{h_{j+1}}$, $p_4 = \frac{h_j}{h_{j-1}+h_j}$,

$h_{j-1} = x_j - x_{j-1}$, $h_j = x_{j+1} - x_j$, $h_{j+1} = x_{j+2} - x_{j+1}$.

Труднощі розрахунку на крайніх фрагментах розв'язуються наступним чином: для першого: $h_{j-1} = x_R - x_{R-1}$; для останнього: $h_j = x_1 - x_0$, $h_{j+1} = x_2 - x_1$; для передостаннього: $h_{j+1} = x_1 - x_0$, де R – кількість фрагментів сплайну, j – номер поточного фрагмента. В загальному вигляді, для сплайна, який складається з R фрагментів, маємо вираз: $S(x) = \sum_{j=0}^{R} f(x_j) X_j(x)$, (1)

Апроксимація контуру виконується за допомогою зваженого МНК. Вибираються 4 вузла. Перший знаходиться в точці з мінімальною абсцисою в декартовій СК, третій – з максимальною. Другий – середині між першим та третім, четвертий – по середині між третім та останньою точкою сплайна. Перший та третій вузол фіксуються.

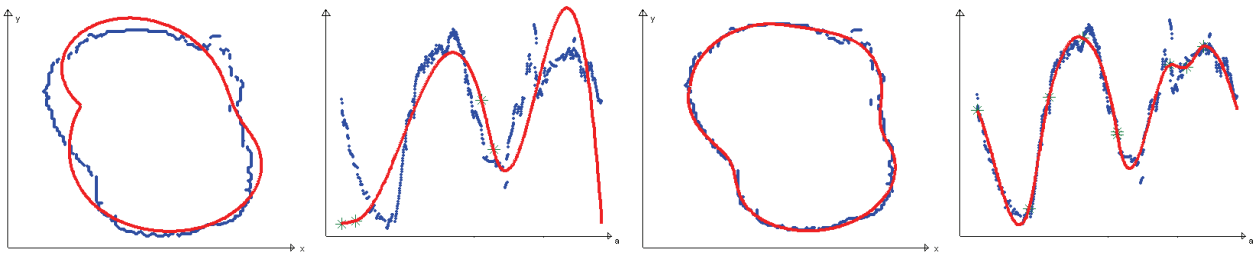


Рис. 3 Контур еозинофіла до та після оптимізації.

Рухаючи вузли, крім фіксованих, знаходимо таке їх положення, при якому нев'язка мінімальна. Якщо задана точність не досягнута, то у фрагмент з найбільшою нев'язкою додається новий вузол (Рис 3).

Діаметром кола є відрізок, що проходить через центр кола та кінці якого належать колу. Коло має безліч діаметрів. Еліпс має два діаметра – велика та мала вісь. Діаметри еліпса перпендикулярні. Великий діаметр є найдовшим відрізком, кінці якого належать еліпсу. Малим діаметром є найдовший відрізок, перпендикулярний до великого діаметра. Еозинофіл здорової людини має форму круга. Якщо до організму потрапив вірус, то форма еозинофіла змінюється (в певних місцях розширюється, в інших – звужується) і може бути як овальною, так і неправильною (рис 4).

Тому великим діаметром еозинофіла вважатимемо найдовший серед відрізків, кінці яких належать контуру досліджуваного тіла. Пошук великого діаметра виконується перебором довжин всіх вказаних відрізків.

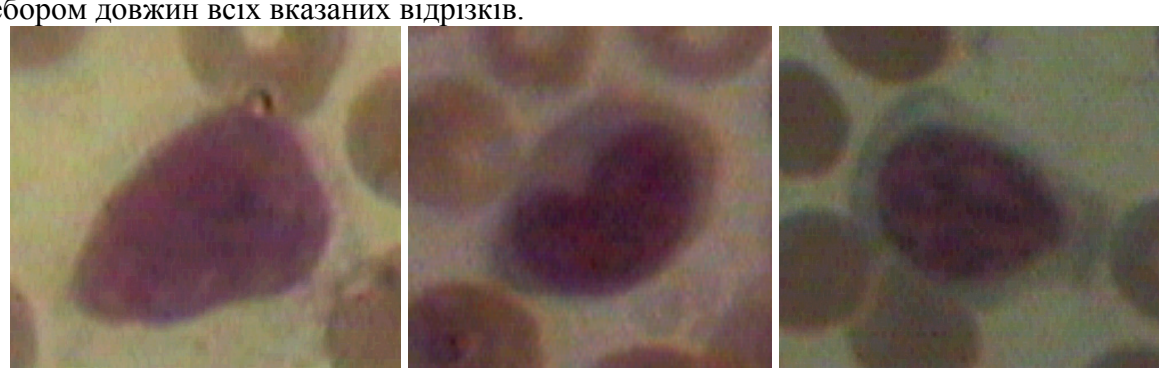


Рис 4. Еозинофіли різної форми

Малим діаметром, за аналогією еліпса, вважатимемо найдовший відрізок, серед перпендикулярних до великого діаметра. Його пошук також виконується перебором. Перпендикулярність перевіряється за допомогою скалярного добутку (рис 5).

Індекс видовженості клітини визначається відношенням великого діаметра до малого.

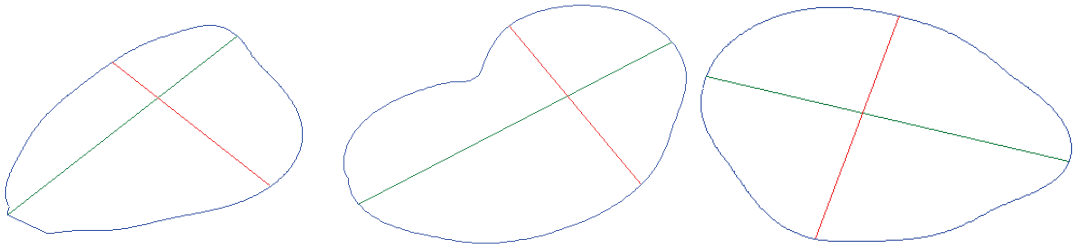


Рис 5. Діаметри еозинофілів різних форм.

Якщо індекс видовженості еозинофіла належить проміжку (0.9, 1) і довжина контуру еозинофіла приблизно дорівнює πd_v, де d_v – найдовший діаметр, то форма є круглою. Якщо діаметри точкою перетину діляться навпіл, то форма є овальною. Форма є неправильною у всіх останніх випадках.

За формулою (1) сплайн представляється як сума базисних базисних функцій. Але для визначення площі клітини та довжини його контуру необхідно перейти до представлення сплайну у вигляді кубічних поліномів окремо на кожному фрагменті.

Для спрощення цієї задачі було зафіксовано два вузли: самий лівий та самий правий. В полярній системі координат точки впорядковувалися по мірі зростання полярного кута. При переході до декартової системи координат впорядкованість не зазнавала змін. Тому ті точки, що знаходяться від лівого зафіксовано до правого вузла, утворюють нижню частину контуру. Ті точки, що знаходяться від правого зафіксованого вузла до кінця сплайну утворюють верхню частину контуру.

Далі на кожному фрагменті вибираються чотири точки. Фрагмент містить від 5 до 150 точок. Якщо взяти підряд чотири точки, то різниця між їхніми значеннями може складати лише одну десятитисячну. Це може призвести до погіршення точності обчислень. Якщо розбити фрагмент на чотири частини однакової довжини, щоб потім взяти по одній точці з кожної, то стає можливим випадок, коли в певну частину не потрапить жодної точки контуру досліджуваної клітини. Тому кожний фрагмент розділяється на чотири частини не по довжині, а по кількості точок. З кожної частини вибирається перша точка. По цих чотирьох точках виконується інтерполяція, в результаті якої отримуються коефіцієнти кубічних поліномів сплайн-функції на кожному окремому фрагменті.

Представлення сплайну у формі кубічних поліномів має наступні переваги. По-перше, тепер для побудови експертної системи та створення бази даних значно зменшується кількість інформації, що зберігається. Контур еозинофіла може містити до тисячі точок. В середньому за описаним алгоритмом сплайн складається з 10 – 13 вузлів. Тобто тепер треба зберігати координати цієї кількості вузлів (від 10 до 13) та коефіцієнтів кубічних поліномів. Різниця в кількості даних, що зберігаються, очевидна.

По-друге, представляючи сплайн у вигляді окремої функції на кожному фрагменті, обчислення точного значення площі клітини та довжини її контуру зводиться до обчислення означеного інтеграла від кубічного поліному.

Площа досліджуваної клітини дорівнює різниці інтегралів від верхньої та нижньої частини його контуру.

Довжина лінії будь-якої функції визначається за формулою $l = \int_m^n \sqrt{1 + \left(f'(x)\right)^2}\,dx$. В даному випадку $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ і формула для обчислення довжини контуру прийме наступний вид: $l = \int_m^n \sqrt{9a^2x^4 + 12abx^3 + \left(4b^2 + 6ac\right)x^2 + 4bcx + c^2 + 1}\,dx$ (2)

Але не можливо взяти інтеграл (2) аналітично. Тому визначення довжини контуру еозинофіла виконуються за допомогою чисельних методів. Інтеграл (2) обчислюється за методом трапеції.

Висновок.

Розроблений алгоритм перевірено на реальних зображеннях. Алгоритм продемонстрував стійкість у роботі та досягненні заданої точності.

Література.

1. Пат. на винахід № 51144 Україна. Спосіб прогнозування алергічних захворювань у дітей / Мокія С.О., Литвинова Т.В., Василенко Н.В., Сітало С.Г., Пономарьова Л.І. - Опубл.15.11.2002, Бюл.№11.

2. *Шелевицький І.В., Шутко М.О., Шутко В.М., Калганова О.О.,* Сплайни в цифровій обробці даних і сигналів. Кривий Ріг: Видавничий дім. 2008. – 232с., іл..

3. Наказ від 20.02.1995 № 33 Про розвиток та удосконалення лікувально-профілактичної допомоги дітям з алергічними захворюваннями www.moz.gov.ua/ua/main/?docID=9606

4. Пат. на винахід № 62672 Україна. Спосіб прогнозування імунного статусу новонароджених / Мокія С.О., Шелевицький І.В., Василенко Н.В. - Опубл.15.12.2005, Бюл.№12.

УДК: 519.6

І.В. Бейко, доктор технічних наук
(Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Україна)

ОПТИМАЛЬНІ МАТЕМАТИЧНО-КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОЧИХ МОДЕЛЕЙ.

Розглядаються методи побудови оптимальних математичних моделей складних систем на множині граф-операторних моделей. Важливими практичними критеріями оптимальності робочих математично-комп'ютерних моделей є критерії їх швидкодії та $B\delta$-адекватності. Задачі побудови оптимальних моделей охоплюють важливі задачі оптимізації тренувальних процесів для підвищення командної майстерності.

Складні керовані системи характеризуються взаємодією підсистем великої розмірності із неповними даними або й невідомими математичними моделями функціонування окремих підсистем, що ускладнює практичне застосування математичних методів їх оптимізації. Методи оптимізації складних систем в умовах неповних даних будуються на принципах оптимального використання наявної різнорідної побічної інформації про причинно-наслідкові залежності між взаємодіючими підсистемами. Для раціонального вибору важливої інформації із наявних доступних джерел використовуються методи розв'язуючих операторів для граф-операторних моделей [1,2], вузлами яких є математичні моделі підсистем керованої системи та часткові причинно-наслідкові залежності у взаємодії керованих підсистем. Методи оптимізації складних керованих систем, що базуються на використанні оптимізованих граф-операторних моделей, суттєво розширюють можливості оптимізації системи навіть на випадки невідомих математичних моделей складної системи. Наприклад, використання граф-операторних моделей для оптимізації траєкторії механічного руху перевернутого n-колінного маятника на жорстких чи на пружних стержнях (або для оптимізації механічного руху системою n фізичних тіл, пов'язаних силами й моментами їх попарної взаємодії) дозволяє будувати оптимальні траєкторії і без повної системи диференціальних рівнянь, яка описує механічний рух всієї системи (відомо, що труднощі побудови такої системи диференціальних рівнянь різко зростають із зростанням n і тому повна система буває надто громіздкою при великих значеннях n). Методи побудови оптимальних керувань з використанням граф-операторних моделей реалізуються також і для керування складними процесами із розподіленими параметрами.

У загальному випадку s-та підсистема k-го вузла уніфікованої граф-операторної моделі складної керованої системи описується системою алгебраїчних, інтегральних чи узагальнених операторних алгебро-інтегро-диференціальних рівнянь

$$A_{ks}(x_{ks}, z_{ks}, u_{ks}) = 0,\ z_{ks} = \varphi_{ks}(x,u) \in Z_{ks},\ s = \overline{1, N_{ks}},\ k = \overline{1, N_k},$$

що пов'язують причинно-наслідкові залежності між фазовим станом $x_{ks} \in X_{ks}$ ks-ої підсистеми, її локальними керуваннями $u_{ks} \in U_{ks}$ та зв'язками $z_{ks} \in Z_{ks}$ ks-ї підсистеми із іншими підсистемами. Складену із таких підсистем граф-операторну модель

$$A(x,u) \equiv \left(A_1(x,u), \ldots, A_{N_k}(x,u)\right) = 0,\ x \equiv (x_1, \ldots, x_{N_k}),$$
$$x_k \equiv (x_{k1}, \ldots, x_{kN_{ks}}),\ u \equiv (u_1, \ldots, u_{N_k}),\ u_k \equiv (u_{k1}, \ldots, u_{kN_{ks}}),$$

$$A_s(x,u) \equiv \left(A_{1s}(x_{s1}, \varphi_{1s}(x,u), u_{1s}), \ldots, A_{N_k s}(x_{N_k s}, \varphi_{N_k s}(x,u), u_{N_k s})\right),$$

разом із підсистемою спостереження $v = C(x,u)$ називаємо *$B\delta$-адекватною на множині $V \times U$ за метрикою ρ*, якщо система $A(x,u) = 0,\ v = C(x,u)$ визначає значення $w \equiv B(x,u)$ заданого критерію оптимальності B із похибкою, що не перевищує числа $\delta > 0$,

тобто, якщо функція $d(u,v) \equiv \max\limits_{x\in\bar{X}(u,v)} \rho(w,B(x,u))$, визначена на множині $\bar{X}(u,v)$ допустимих траєкторій x при керуванні u та спостереженнях $v = C(\bar{x},u)$, задовольняє нерівність $\max\limits_{u\in U} \max\limits_{v\in V} d(u,v) \le \delta$.

Якщо граф-операторна модель $A(x,u)=0$ із підсистемою спостереження $C(x,u)=v$ є $B\delta$-адекватною на множині $V\times U$, то існує розв'язуючий оператор F, який задовольняє нерівність

$$\max_{u\in U} \max_{v\in V} \max_{x\in\bar{\bar{X}}(u,v)} \rho(F(v,u),B(x,u)) \le \delta .$$

За допомогою оператора F оптимальне на множині $D\subset U$ значення $B(x,u)$ для системи

$$A(x,u)=0,\ C(x,u)=v$$

визначається з точністю δ як оптимальне на D значення $F(u,v)$. Побудова оператора F на множині $\bar{\bar{X}}(u,v)$ здійснюється за допомогою відшукання оператора $\Re^{\delta}:\left(U\times V\times W_A\times W_C\right)\to W_B$ [3], який для заданих частинних функцій

$$A:(X\times U)\to W_A,\quad B:(X\times U)\to W_B,\ C:(X\times U)\to W_C$$

задовольняє нерівність

$$\max_{x\in\bar{\bar{X}}(u,v)} \rho\left(\Re^{\delta}\left(u,v,A(x,u),C(x,u)\right),\ B(x,u)\right)\le\delta,\ (x,u,v)\in\bar{\bar{X}}(u,v)\times U\times V .$$

***Теорема* 1** [1]. *Якщо для множини* $\bar{\bar{X}}(u,v)\supset\bar{X}(u,v)$ *і для числа* $\delta\ge 0$ *існує оператор* $\Re^{\delta}$, *то граф-операторна модель* $A(x,u)=0,\ C(x,u)=v$ *є* $B\delta$*-адекватною і відхилення* (*за метрикою* ρ) *значення* $\Re^{\delta}(u,v,0,v)$ *від значення розв'язуючого оператора* $F(v,u)$ *не перевищує числа* δ.

Звідси випливає, що відхилення оптимального на множині $D\subset U$ значення $B(x(u,v),u)$, де $x=x(u,v)$ є розв'язком граф-операторної моделі $C(x,u)=v$, $A(x,u)=0$, від оптимального на множині D значення $\Re^{\delta}(u,v,0,v)$ не перевищує за метрикою ρ числа δ. Умови існування розв'язуючих операторів F отримані у роботах [1-3] (де побудовані такі оператори).

Наявність інформації про наближений розв'язок $(\bar{x},\bar{u})$ системи $A(x,u)=0$, $C(x,u)=v$ може бути використана для побудови алгоритмів прогнозування підвищеної точності з використанням асимптотично-розв'язуючих операторів $\Re_s$ та $\Re_{sq}$, які в околі $(\bar{x},\bar{p})$ задовольняють асимптотичні рівняння

$$\dim\left(\left\{B(x,p)-\Re_s\left(\bar{x},A(x,p),C(x,p)\right),\ (x,p)\in M\right\}\right)=O\left(\|x-\bar{x}^k\|^s\right),$$

$$\dim\left(\left\{B(x,p)-\Re_{sq}\left(p,\bar{p},\bar{x},A(x,p),C(x,p)\right),\ (x,p)\in M\right\}\right)=O\left(\|x-\bar{x}^k\|^s\right)+O\left(\|p-\bar{p}\|^q\right).$$

Такі асимптотично-розв'язуючі оператори побудовані для складних моделей, які описуються багатовимірними неявними алгебро-диференціальними та алгебро-інтегро-диференціальними рівняннями

$$f(t,x,u)=f^0\left(x(t_0),u,\dot{x}(t),x(t),u(t),t,\int\limits_{D(t,u,x)} f^1\left(x(s),u(s),s,x(t),u(t),t\right)ds\right)=0,$$

із ліпшицевими по фазових змінних функціями f^0, f^1 та узагальненими крайовими умовами

$$F(x,u) \equiv F^0\left(x(t_0), x(T), u, \int_{t_0}^{T} F^1\left(\dot{x}(t), x(t), u(t), t\right.\right.,$$

$$\left.\left. \int_{t_0}^{T} F^2\left(\dot{x}(s), x(s), u(s), s, \dot{x}(t), x(t), u(t), t\right) ds \right) dt \right) = 0.$$

У цьому випадку асимптотично-розв'язуючий оператор $\Re$ для цільової функції

$$B(x,u) \equiv B^0\left(x(t_0), x(T), u, \int_{t_0}^{T} B^1\left(\dot{x}(t), x(t), u(t), t\right.\right.,$$

$$\left.\left. \int_{t_0}^{T} B^2\left(\dot{x}(s), x(s), u(s), s, \dot{x}(t), x(t), u(t), t\right) ds \right) dt \right)$$

побудований у вигляді $\Re(u) \equiv B(w,u) + \eta F(w,u) + M_1(u,\psi,\eta)x(t_0) + \int_{t_0}^{T} \psi^*(t) f(t,w,u)dt,$ де η і $\psi(t)-$ розв'язок відповідної гамільтонової системи спряженої до системи $f(t,x,u) = 0$ з інтегралами по спряженій області $D^*(t,u,x)$.

Розглянемо приклад застосування асимптотично-розв'язуючих операторів у побудові робочих моделей високого порядку для прогнозування траєкторій x операторного рівняння $dx(\tau)/d\tau = f\left(x(\tau),\tau\right)$. У цьому випадку оператор F є асимптотично-розв'язуючим на інтервалі $\tau \in [t, t+H]$ для функції $v\left(x(t+H)\right)$ відносно неперервної по τ функції $Z\left(Q(\tau)\right)$ на розв'язку x задачі Коші $dx(\tau)/d\tau = f\left(x(\tau),\tau\right)$, $x(t) = x^0$, якщо для неперервних функцій p із околу x виконується асимптотична рівність

$$F(t,p,H,Z,Q) = v\left(x(t+H)\right) + \left(O(\| Z(Q) \|) + O(\| p - x \|)\right) H \| p - x \|,$$

а оператор $G(\tau)$ є асимптотично-розв'язуючим оператором s-го порядку за параметром h в околі t для функції $v\left(x(t+h)\right)$, якщо виконується асимптотична рівність $G(h) = v\left(x(t+h)\right) + O(h^s).$

У випадку функцій $v\left(x(t+H)\right) \equiv Q(t+H)x(t+H)$, $Z\left(Q(\tau)\right) \equiv dQ(\tau)/d\tau + Q(\tau)A(\tau)$ та неперервних на інтервалі $\tau \in [t, t+H]$ функції $Q(\tau)$, $A(\tau) \equiv f_x'\left(p(\tau),\tau\right)$, $Z\left(Q(\tau)\right)$ і ліпшицевої по $p(\tau)$ матриці $f_x'\left(p(\tau),\tau\right)$ асимптотично-розв'язуючий для функції $v\left(x(t+H)\right)$ відносно $Z(Q)$ на розв'язках $x(t+H)$ оператор F визначається на неперервних функціях p із околу x рівняння

$$F(t,p,H,Z,Q) = Q(t+H)p(t+H) + \int_{t}^{t+H} Q(\tau)\left(f(p(\tau),\tau) - dp(\tau)/d\tau\right)d\tau,$$

а якщо функції $Q(\tau)$, $A(\tau) = f_x'\left(p(\tau),\tau\right)$, $p(\tau)$ та $x(\tau)$ задовольняють для $s = k + l + 1$, $l \le k$, $\tau \in [t, t+h]$ асимптотичному рівнянню

$$dQ(\tau)/d\tau = -Q(\tau)A(\tau) + \mathrm{O}(h^k),\ p(\tau) = x(\tau) + \mathrm{O}(h^l),\ p(t) = x(t),$$

то оператор $G(h)$ s-го порядку обчислюється за формулою

$$G(h) = Q(t+h)\,p(t+h) + \int_{t}^{t+H} Q(\tau)\left(f\left(p(\tau),\tau\right) - dp(\tau)/d\tau\right)d\tau$$

і ми отримуємо чисельно-аналітичний алгоритм для обчислення значення $v\left(x(t+h)\right)$ з високим порядком точності $O(h^s)$.

При наявності в граф-операторній системі випадкових величин та випадкових процесів ω критерії оптимальності визначають за математичними сподіваннями $w = M_{\omega}B(x,u,\omega)$ і для оптимізації модельованих випадкових процесів за критеріями максимізації математичного сподівання якості очікуваного результату використовуються методи стохастичної оптимізації. До такої задачі стохастичної оптимізації граф-операторної моделі приводиться, зокрема, і задача комплексної оптимізації тренувальних процесів із оптимізованими тактичними сценаріями атак та захисту за агрегованими критеріями максимізації математичного сподівання якості результатів. Важливими підсистемами такої граф-операторної моделі є підсистеми $A_{ks}(x_{ks}, z_{ks}, u^k, u^s, \omega_{ks}) = 0, \quad z_{ks} = \varphi_{ks}(x,u,\omega) \in Z_{ks}$ для обчислення розподілу ймовірностей x_{ks} випадкових результатів двоборства між k-м та s-м ігроками із індивідуальними показниками u^k та u^s їх майстерності у ситуації $z_{ks} = \varphi_{ks}(x,u,\omega)$. Зокрема, до важливих індивідуальних показників спортивної майстерності k-го ігрока належить: u_1^k, u_2^k - швидкість бігу на 30 м і на 100 м; u_3^k - висота стрибка; u_4^k - швидкість реакції (оцінюється за спеціальною методикою); u_5^k, u_6^k - сила і точність атакуючих ударів; u_7^k, u_8^k - сила і точність ударів по швидких м'ячах на низьких і високих траєкторіях польоту м'яча (оцінюється за спеціальною методикою); u_9^k - майстерність опанування фінтами (оцінюється за спеціальною методикою); u_{10}^k майстерність силового двоборства за оволодіння м'ячем (оцінюється за спеціальною методикою).

До важливих факторів командної спортивної майстерності, які впливають на розподіл ймовірностей остаточних результатів матчу, належить якість алгоритмів оптимізації стартового складу команди та оптимізації тактичних сценаріїв атаки і захисту із урахуванням індивідуальних показників спортивної майстерності та спроможності у виконанні індивідуальних завдань у оптимальних стратегіях переходів до контратак та до захисту.

Висновки

Використання розв'язуючих операторів для побудови оптимізованих математично-комп'ютерних моделей складних реальних систем в умовах неповних даних дозволяє підвищувати адекватність робочих математичних моделей за допомогою оптимального використання побічних джерел додаткової інформації. Побудовані методи оптимізації математичних моделей реальних систем можна успішно використовувати для оптимізації тренувальних процесів у підвищенні командної майстерності.

Список літератури

1. *Бейко И.В.* Функции для оценивания полезности информации в конструктивной теории оптимальных агрегированных моделей // Кибернетика и системный анализ. – 1996. - №3. - С.43-54.

2. *Бейко І.В.* Розвиток методів розв'язуючих та асимптотично-розв'язуючих операторів для побудови оптимальних та асимптотично-оптимальних математичних моделей// Вісник Київського університету. Серія: Кібернетика. – 2002. - Вип.3.- С. 10-15.

3. *Бейко І.В., Зінько П.М.* Методи високих порядків для розв"язування задач Коші та багатомірних крайових задач за допомогою асимптотично-розв"язуючих операторів// Математичне та комп"ютерне моделювання / Кам"янець-Подільський національний університет, Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України, - Кам"янець-Подільський: К-ПНУ, 2009. - Вип.1. - С.18-25.

УДК 004.932.2:519.6

В.В. Мороз, кандидат технічних наук, О.С. Чубач, аспірант,
(Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Україна)

МЕТОД ЧАСОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ВІДЕО НА ОСНОВІ ОБ'ЄКТНОЇ МОДЕЛІ КАДРУ

В статті пропонується метод інтерполяції відео послідовності з метою підвищення частоти кадрів на стороні декодера. Оцінка та компенсація руху виконується на основі обчислення вейвлетних апроксимацій оптичного потоку. Для покращення якості інтерпольованих кадрів пропонується компенсація руху з застосуванням об'єктної моделі кадру.

Більшість сучасних технологій, що використовують обробку відеосигналів, стикаються з проблемою перетворення частоти кадрів [1]. Дана проблема виникає при передачі та збереженні відеоданих і зачіпає дискретизацію кадрів (зображень) не тільки в просторі, але і в часі. Зміна частоти кадрів виконується також при переході від одного стандарту відео до іншого (PAL/SECAM та NTSC), при відновленні кадрів, що були зіпсовані під час неякісної передачі. Тому необхідно передбачати інформацію в пропущених/зіпсованих кадрах ґрунтуючись на інформації, що є в сусідніх кадрах.

Поставлена проблема використовує часову модель послідовності кадрів і є типовою задачею інтерполяції, в якій відома таблиця значень функцій при заданих значеннях аргументу, а треба обчислити значення функції в проміжних точках. Але, при використанні алгоритмів лінійної інтерполяції, помітні спотворення зображень при відтворенні об'єктів, що швидко рухаються: розмиття меж, тремтіння, уривчастість. Причина цих спотворень полягає у тому, що застосування прямої інтерполяції не завжди допустиме. Тому замість прямої інтерполяції застосовується інтерполяція з компенсацією руху.

В задачах обробки відео час може розглядатися як додатковий вимір. В зв'язку з цим, в більшості досліджень відеосигнал розглядається як тривимірна функція $f(x,t)$, де x – двовимірний вектор піксельних координат, а t – час. З фізичної точки зору $f(x,t)$ – інтенсивність зображення, як функція простору і часу.

Таким чином, відеосигнал можна розкласти в ортонормований базис для тривимірних сигналів. Але, виходячи з того, що найбільші зміни зображення з часом є результатом руху сцени по відношенню до відеокамери, таке представлення сигналу малоефективне. Це в першу чергу пов'язано із зміщенням рівнів яскравості в кадрах відеопослідовності.

Тому, найбільш поширеною технікою при кодуванні відео, є техніка на основі компенсації руху. Інтерполяція з компенсацією руху ґрунтується на аналізі зображення, виявленні об'єктів, що рухаються, і оцінці швидкості їх переміщення в кадрі. Задача розв'язується шляхом оцінки руху об'єктів. Для цього вимірюється абсолютна величина швидкості і напрямок переміщення об'єкту, тобто швидкість визначається як векторна величина. На практиці визначають горизонтальне та вертикальне зміщення об'єкту за час між двома кадрами. Отримані значення є відповідно горизонтальною та вертикальною координатами вектора, пропорційного швидкості, який є вектором руху.

В найпростішому випадку усі елементи кадру можуть переміщатися в одному напрямку з однією швидкістю. В загальному випадку необхідно визначити об'єкти, або множини елементів зображення, що характеризуються одним і тим же рухом. Кожному такому об'єкту призначається власний вектор руху.

Для кращої компенсації руху в зображенні необхідна більша кількість таких незалежних областей з призначеними векторами руху. В граничному випадку кількість незалежних векторів руху може дорівнювати числу елементів зображення. Коли відомі вектори руху для всіх елементів зображення, то можливо перемістити елементи в розрахункові точки і створити проміжне зображення.

Переміщення об'єктів розглядається з позиції вимірювання оптичного потоку, який є зміщенням рівнів яскравості в зображенні. Для обчислення зміщення рівнів яскравості з часом, інтенсивність зображення $f(x,t)$ має бути гладкою по x. Тоді оптичний потік може розглядатися, як поле траєкторій пікселів між послідовними кадрами. Маючи оптичний потік, можна побудувати точний прогноз для більшості пікселів між послідовними кадрами переміщуючи кожен піксел першого кадру вздовж його вектора оптичного потоку.

Обчислення оптичного потоку може бути виконане як за допомогою технічних прийомів, так і за допомогою диференційного потоку [2].

Але точне обчислення оптичного потоку призводить до великих обчислювальних затрат. Тому на практиці частіше застосовують не піксел, як одиницю переміщення, а блок пікселів. Неправильне визначення векторів руху окремих блоків призводить до небажаних візуальних ефектів, які проявляються у вигляді тремтіння або деформацій елементів зображення. Для зменшення подібних небажаних артефактів обчислимо кратномасштабні вейвлетні апроксимації оптичного потоку з подальшим узгодженням векторів руху на об'єктній моделі кадрів.

Нехай рівень яскравості i-го кадру – $f_i(x)$, а Δ – час, за який демонструється кадр. Якщо існує вектор зміщення $m_i(x)$ за проміжок часу з $(i\cdot\Delta)$ по $(i+1)\cdot\Delta$, то $f_{i+1}(x) = f_i(x + m_i(x))$. Відповідний вектор швидкості визначається як $v_i = m_i(x)/\Delta$. Для невеликих змін швидкості в деякому околі δ та достатньо малому z припустимо, що $f_{i+1}(x) \approx f_i(x + m_i(\delta))$, коли $|x-\delta| \le z$. Виходячи з цього, узгодження зводиться до оцінки вектора зміщення $m_i(x)$ шляхом мінімізації норми різниці рівнів інтенсивності на квадратному блоці розміру z:

$$\varepsilon(\delta, m) = \iint\limits_{|x-\delta|\le z} \left| f_{i+1}(x_1, x_2) - f_i(x_1 + m_1, x_2 + m_2) \right|^2 dx_1 dx_2 \ .$$

Таким чином, використовуючи зсув m_δ, який мінімізує похибку $\varepsilon(\delta, m_\delta) = \min_m \varepsilon(\delta, m)$, можна побудувати апроксимацію оптичного потоку $m_i(\delta)$.

При дуже малих значеннях z, $\varepsilon(\delta, m)$ має кілька локальних мінімумів для різних m. Так як локальні мінімуми по амплітуді мало відрізняються, то вибір глобального мінімуму може призвести до неправильної оцінки вектора руху $m_i(\delta)$ при наявності шуму в зображенні. При дуже великих розмірах зони узгодження, швидкість $v_i(x)$ може бути не постійною в її межах, а тому мінімізація похибки $\varepsilon(\delta, m)$ також призводить до помилкової оцінки руху. До того ж, обчислювальна складність в даному випадку для зображень в кадрі розміром $N \times N$ пікселів складає $O(z^2 N^4)$. Знизити обчислювальну складність алгоритмів компенсації руху, що базуються на узгодженні блоків, дозволяють кратномаштабні апроксимації зображення. Алгоритми, що ґрунтуються на використанні КАЗ, спочатку обчислюють грубу оцінку поля векторів руху. Для цього обчислюється узгодження кожного пікселя двох послідовних кадрів $\widetilde{f}_i^{\,j}$ та $\widetilde{f}_{i+1}^{\,j}$ шляхом мінімізації відстані, обчисленої по блоках із z^2 пікселів, де $\widetilde{f}_i^{\,j}$ – апроксимація i-го кадру в масштабі 2^j. Потім обчислюється уточнене узгодження для зменшеного масштабу 2^{j-1}.

Таким чином кратномаштабна апроксимація використовує спочатку обчислення похибки узгодження в зонах великих розмірів, а потім розмір зони зменшується при уточненні масштабу. При цьому складність таких алгоритмів складає $O(K^2 z^2 N^2)$, де K^2 – кількість цілочисельних векторів зміщення m, які задовольняють вимозі узгодження на двох послідовних масштабах при пороговому значенні K.

Обчислимо оптичний потік за допомогою повного приросту. Виходячи з того, що рівень яскравості $f(x(t),t)$ залишається постійним в межах кількох кадрів, то повний

приріст може бути записаний як

$$\frac{df(x(t),t)}{dt} = \frac{\partial f(x,t)}{\partial x_1} x_1'(t) + \frac{\partial f(x,t)}{\partial x_2} x_2'(t) + \frac{\partial f(x,t)}{\partial t} = 0 .$$

Тоді рівняння оптичного потоку, що зв'язує вектор швидкості та рівень яскравості в будь-якій точці зображення з часом t, буде мати вид:

$$\vec{\nabla} f \cdot v = \frac{\partial f(x,t)}{\partial x_1} v_1 + \frac{\partial f(x,t)}{\partial x_2} v_2 = -\frac{\partial f(x,t)}{\partial t}, \qquad (1)$$

де:

$v = (v_1, v_2) = (x_1', x_2')$ — вектор швидкості

$\vec{\nabla} f = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2} \right)$ — градієнт f.

Нехай $v(x,t)$ – гладка вектор-функція x і, відповідно, її можна апроксимувати константою в досить малій області. Точна оцінка вектора руху може бути обчислена проекцією рівняння оптичного потоку на багатомаштабні вейвлети [3], а в [4], [5] запропонований швидкий алгоритм обчислення оптичного потоку у вейвлетному каркасі.

Головними недоліками алгоритмів, що ґрунтуються на подібному обчисленні вейвлетного потоку, є те, що малі об'єкти та об'єкти, що швидко рухаються, можуть бути втрачені вже на етапі, коли використовуються блоки великого розміру в поєднанні з вейвлетною фільтрацією.

Розглянемо материнський вейвлет:

$$\psi_{\delta,z} = \frac{1}{z} \psi \left(\frac{x_1 - \delta_1}{z}, \frac{x_2 - \delta_2}{z} \right).$$

Припустимо, що зміщення зображення за час Δ мале в порівнянні з носієм вейвлета, розмір якого пропорційний z. Тоді величина z буде визначатися за умови, що похибка ε_z мала, коли $|v| << z/\Delta$ і $v(x,t) \approx v(\delta,t)$ – майже константа на носії $\psi_{\delta,z}$. Обчислюючи скалярний добуток рівняння оптичного потоку (1) на вейвлет $\psi_{\delta,z}$ та інтегруючи по частинах отримуємо:

$$\left\langle f, \frac{\partial \psi_{\delta,z}}{\partial x_1} \right\rangle v_1(\delta,t) + \left\langle f, \frac{\partial \psi_{\delta,z}}{\partial x_2} \right\rangle v_2(\delta,t) = \frac{d}{dt} \left\langle f, \psi_{\delta,z} \right\rangle + \varepsilon_z(\delta,t) . \qquad (2)$$

Відеопослідовність складається з кадрів, що показуються з інтервалом. Якщо частота кадрів підвищується в n_f разів, то необхідно визначити значення похідної в правій частині в моменти часу $t = (i + 1/n_f)\Delta$.

Припустимо, що $n_f = 2$. Рівняння вейвлетного оптичного потоку обчислюється за умови, що похідна $\frac{d}{dt} \langle f, \psi_{\delta,z} \rangle$ в рівнянні (2) у момент часу $t = (i + 1/2)\Delta$ може бути визначена з похибкою другого порядку за допомогою кінцевої різниці:

$$\frac{d}{dt}\left\langle f,\psi_{\delta,z}\right\rangle=\frac{1}{\Delta}\left\langle f_{i+1}-f_i,\psi_{\delta,z}\right\rangle+\varepsilon_\alpha(\delta,t).$$

Тоді рівняння (2) буде мати вигляд:

$$\left\langle\frac{f_i+f_{i+1}}{2},\frac{\partial\psi_{\delta,z}}{\partial x_1}\right\rangle v_1(\delta,t)+\left\langle\frac{f_i+f_{i+1}}{2},\frac{\partial\psi_{\delta,z}}{\partial x_2}\right\rangle v_2(\delta,t)=\frac{1}{\Delta}\left\langle f_{i+1}-f_i,\psi_{\delta,z}\right\rangle+\varepsilon_z(\delta,t)+\varepsilon_\alpha(\delta,t).$$

Похибкою $\varepsilon_z(\delta,t)+\varepsilon_\alpha(\delta,t)$ можна знехтувати у випадку, коли швидкість є приблизно постійною на носії вейвлета, або її амплітуда не дуже велика. Таким чином, застосування властивості кратномаштабності вейвлетів для реалізації погодження блоків, реалізує зведення оцінки векторів швидкості на великих масштабах до погодженого пошуку в вузьких областях поступово зменшуваних масштабів.

Висновки

Застосування кратномасштабних вейвлетних апроксимацій кадрів при обчисленні векторів руху дозволило значно зменшити обчислювальну складність методу завдяки тому, що оптичний потік будується на основі низькочастотних доменів першого та другого рівнів вейвлетного перетворення. При уточненні векторів руху по високочастотних доменах, проводиться їх узгодження на рівні об’єктів. Якщо вектори руху суміжних елементів кадру не співпадають, то перевіряється їх належність до одного об’єкту кадра. Даний метод дозволив значно покращити візуальну якість відновленого відео. Для перевірки роботи даного методу оригінальна послідовність кадрів була проріджена в два рази. За допомогою запропонованого методу відкинуті кадри були інтерпольовані. Результат порівняння їх з оригінальними кадрами за метрикою PSNR підтвердив кількісно суб’єктивний висновок про візуальну якість: розходження складало не більше 3,2 децибели на більшості кадрів. Більша похибка була лише на високо динамічних сценах з перекриттям об’єктів. Тому подальша робота буде полягати в пошуку більш точного рішення для проблеми перекриття.

Список літератури

1. *J.L. Barron, D.J. Fleet and S.S. Beauchemin.* Performance of optical flow techniques. International Jour. on Computer Vision, 12(1): 43-77, 1994.

2. *Shou-Yi Tseng*. Motion estimation using a frame-based adaptive thresholding approach, Real-Time Imaging, vol. 10, Issue 1, February 2004, pp. 1-7.

3. *J. Weber and J. Malik.* Robust computation of optical flow in a multi-scale differential framework. International Jour. of Computer Vision, 14(1):5-19, 1995.

4. *Yu Liu, King Ngi Ngan.* Fast multiresolution motion estimation algorithms for wavelet-based scalable video coding, Signal Processing: Image Communication, Volume 22, Issue 5, June 2007, pp. 448-46.

5. *H.-W. Park and H.-S. Kim.* Motion estimation using low-band-shift method for wavelet based moving-picture coding, IEEE Trans. Image Process., vol.9, no.4, April 2000, pp. 577–587.

Наша адреса: 03680, Київ-058,
проспект Космонавта Комарова, 1, кім. 1.238
тел.: (044) 406-71-56
факс: (044) 406-72-12
e-mail: vtnik@nau.edu.ua
http://avia.nau.edu.ua